







VOLUME II • VOLUMEN II

EDITORES
Prof. Vasco Peixoto de Freitas
Prof. César Díaz Gómez
Prof. Paulo Helene
Prof. Vitor Abrantes

PATORREB 2009

3.º ENCONTRO SOBRE PATOLOGIA E REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS

3.º CONGRESO DE PATOLOGÍA Y REHABILITACIÓN DE EDIFICIOS

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO

International Council for Research and Innovation in Building and Construction

MARÇO 18-20 MARZO
PORTO 2009

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

3.º ENCONTRO SOBRE PATOLOGIA E REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS | 3.º CONGRESO DE PATOLOGÍA Y REHABILITACIÓN DE EDIFICIOS



ACTAS DO ENCONTRO | ACTAS DEL CONGRESO

VOLUME II | VOLUMEN II

Março 18 - 20 marzo

Porto 2009

Actas do 3.º Encontro sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios, PATORREB2009
Porto, FEUP, 18 a 20 de Março de 2009

Actas del 3.º Congreso de Patología e Rehabilitación de Edificios PATORREB2009
Porto, FEUP, 18 a 20 de marzo de 2009

Editado por / Editado por:

Vasco Peixoto de Freitas vpfreita@fe.up.pt
César Díaz Gómez cesar.diaz@upc.edu
Paulo Helene paulo.helene@poli.usp.br
Vitor Abrantes abrantes@fe.up.pt

Comissão Organizadora do PATORREB2009
Departamento de Engenharia Civil
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – FEUP
Rua Dr. Roberto Frias
4200-465 PORTO
Tel.: 225 081 932 Fax: 225 081 940

Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia
Biblioteca
Nº 101748
CDU 69.059(063)/PR E3 Vol. 2
Data 21/10/2009

Capa / Portada: Ana Stingl

Impressão / Impresión: Greca – Artes Gráficas

Tiragem / Reproducciones: 700 exemplares / 700 ejemplares

ISBN / ISBN: 978-972-752-109-8

Depósito legal / Depósito legal: 289570/09

A cópia do todo ou de parte destas Actas, seja por meios mecânicos ou electrónicos, só será possível na condição de ser autorizada por escrito pelos editores.

Todos los derechos reservados. Queda prohibida la reproducción total o parcial de esta obra, sea por medios mecánicos o electrónicos, sin la debida autorización por escrito del editor.

Preâmbulo

Realizaram-se em Março de 2003 e em Março de 2006, na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, o 1.º e 2.º Encontro sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios – PATORREB, que contaram com mais de 600 participantes (professores, investigadores, estudantes, construtores, projectistas e outros profissionais). O extraordinário interesse manifestado pelo tema motiva a realização do 3.º Encontro sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios – PATORREB 2009, organizado conjuntamente pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, pela Universidade Politécnica da Catalunha e pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, com o intuito de dar um novo impulso na divulgação e sistematização do conhecimento, neste domínio, e, simultaneamente, contribuir para um intercâmbio técnico-científico entre Portugal, Espanha, Brasil e diferentes países da América Latina. As línguas oficiais das actas do PATORREB 2009 serão o português e o espanhol.

Com o objectivo de internacionalizar o PATORREB organiza-se, em simultâneo, a reunião anual do CIB-W086: Building Pathology, que tem o apoio do International Council for Research and Inovation in Building and Construction.

A reabilitação é uma área estratégica, que deve não só preocupar-se com as construções históricas e os edifícios antigos, mas também com aqueles que o tempo de utilização exige intervenções de adaptação às exigências actuais. Por outro lado, foram construídos centenas de milhares de fogos, nas duas últimas décadas, que nem sempre apresentam o desempenho esperado, o que exige o diagnóstico das patologias observadas e a sua reparação. Será um erro se no futuro não encararmos a reabilitação de todo o património edificado mas apenas de uma parte dos edifícios.

Consideramos que é necessário clarificar as estratégias Nacionais e Municipais e o enquadramento legislativo no domínio da reabilitação do património edificado; tipificar os edifícios que é necessário reabilitar e qual a metodologia de abordagem; discutir a compatibilização das exigências dos regulamentos actuais com a especificidade dos projectos de reabilitação; avaliar a implementação da reabilitação de edifícios na requalificação urbana; propor o desenvolvimento de um código da construção e do seguro da construção como pilares da qualidade; divulgar tecnologias utilizadas em reabilitação; apresentar tecnologias de diagnóstico e tipificar patologias.

O PATORREB 2009, que conta com a apresentação de cerca de 140 comunicações e 26 palestras, procura reflectir sobre esta problemática, mostrando os últimos avanços da investigação e da prática.

A Comissão Organizadora expressa um profundo agradecimento a todos os membros da Comissão Científica, aos Palestrantes convidados, aos Autores das comunicações, bem como a todas as Empresas e Instituições que patrocinaram ou apoiaram a organização do PATORREB 2009, sem os quais esta iniciativa não seria possível.

Deseja-se que o PATORREB 2009 seja útil para todos os que nele decidiram participar, contribua para a sistematização e o avanço do conhecimento neste domínio e tenha a continuidade desejável com a organização do PATORREB 2012.

Vasco Peixoto de Freitas
Professor Catedrático – FEUP
Comissão Organizadora

Preámbulo

Durante los meses de marzo de los años 2003 y 2006 tuvieron lugar en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Porto, el 1er y el 2.º Congreso de Patología y Rehabilitación de Edificios - PATORREB, que reunieron a más de 600 participantes (profesores, investigadores, estudiantes, constructores, proyectistas y otros profesionales). El extraordinario interés despertado por las anteriores convocatorias justifica y motiva la realización del 3.º Congreso de Patología y Rehabilitación de Edificios - PATORREB 2009, que cuenta en esta ocasión con la organización conjunta de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Porto, la Universidad Politécnica de Cataluña y la Escuela Politécnica de la Universidad de San Paulo, y que pretende dar un nuevo impulso a la divulgación y sistematización del conocimiento de estos temas, contribuyendo, simultáneamente, al intercambio técnico-científico entre Portugal, España, Brasil y diversos países de la América latina. Los idiomas oficiales del congreso serán el portugués y el español.

Con el objetivo de internacionalizar el PATORREB se realiza, en simultaneo, la reunión anual de CIB-W086: Building Pathology, que cuenta con el apoyo del International Council for Research and Inovation in Building and Construction.

La rehabilitación constituye una actividad estratégica que no sólo abarca las construcciones históricas y los edificios antiguos, sino también todos aquellos edificios que requieren de algún tipo de intervención para su adaptación a las exigencias actuales o para subsanar el deterioro originado por el paso del tiempo. Por otra parte, en estas últimas décadas han sido construidos centenares de miles de edificios residenciales cuyo estado requiere o requerirá a corto o medio plazo, en un apreciable número de casos, de la aplicación de procesos de diagnosis y reparación. Cometeríamos un error si en el futuro sólo afrontásemos la rehabilitación de una parte de los edificios, en lugar de hacerlo de todo el conjunto del patrimonio edificado.

Consideramos que es necesario clarificar las estrategias nacionales y municipales y el desarrollo legislativo en el ámbito de la rehabilitación del patrimonio edificado; establecer criterios sobre los edificios que requieren rehabilitación y la metodología más apropiada a cada caso; analizar la compatibilidad de las exigencias de los reglamentos actuales con la especificidad de los proyectos de rehabilitación; evaluar la implementación de la rehabilitación de edificios en los procesos de recalificación urbana; propiciar el desarrollo de un código de construcción y de un adecuado seguro de la construcción como pilares de la calidad; divulgar tecnologías utilizadas en la rehabilitación; exponer técnicas de diagnosis y métodos de tipificación de los daños.

El PATORREB 2009, que cuenta con la participación de cerca de 140 comunicaciones y 26 conferencias, se propone reflexionar sobre estas cuestiones, mostrando los últimos avances de la investigación y de la práctica.

La Comisión Organizadora expresa su profundo agradecimiento a todos los miembros de la Comisión Científica, a los Conferenciantes invitados, a los Autores de las comunicaciones, así como a todas las Empresas e Instituciones que patrocinan o apoyan la organización del PATORREB 2009. Sin todos ellos, la iniciativa sería imposible.

Deseamos que el PATORREB 2009 sea útil para todos los que en él participan, contribuya a la sistematización y al avance del conocimiento en este dominio y tenga la continuidad esperada con la organización del PATORREB 2012.

Vasco Peixoto de Freitas
Profesor Catedrático – FEUP
Comisión Organizadora

Patrocínios / Patrocinios



















Apoios / Apoyos



























































* Apoio financeiro ao abrigo do Programa FACC.

Comissão Científica / Comisión Científica

PORTUGAL

Prof. Amorim Faria	FEUP
Prof.ª Anabela Paiva	UTAD
Prof. Aníbal Costa	UA
Prof. António Tadeu	FCTUC
Prof. Arlindo Begonha	FEUP
Prof. Barroso Aguiar	UM
Prof. Fernando Branco	IST
Prof. Fernando Henriques	FCT-UNL
Eng.º Grandão Lopes	LNEC
Prof.ª Helena Corvacho	FEUP
Prof. João Lanzinha	UBI
Prof. Jorge de Brito	IST
Prof.ª Manuela Almeida	UM
Prof. Moret Rodrigues	IST
Prof. Paulo Lourenço	UM
Eng.º Pina dos Santos	LNEC
Prof. Raimundo Mendes da Silva	FCTUC
Eng.ª Rosário Veiga	LNEC
Prof. Vasco Peixoto de Freitas	FEUP
Eng.º Vasconcelos de Paiva	LNEC
Prof. Vítor Abrantes	FEUP

ESPANHA

Arq.º Alberto Redondo Porto	COAG
Prof.ª Carmen Rodríguez Liñán	US
Prof. César Díaz Gómez	UPC
Prof. Joaquín Fernández Madrid	UDC
Prof. Joseba Escribano Villán	UPV
Prof. Juan Monjo Carrió	UPM
Prof. Luis Villegas Cabredo	UC

BRASIL

Prof. André Guimarães	FURG
Prof.ª Eliana Monteiro	UPE
Prof. Enio Figueiredo	UFG
Prof. Paulo Helene	EP-USP
Prof. Túlio Bittencourt	EP-USP

COAG	Colexio Oficial de Arquitectos de Galicia
EP-USP	Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
FCTUC	Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra
FCT-UNL	Faculdade de Ciências e Tecnologia da Univ. Nova de Lisboa
FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
FURG	Fundação Universidade do Rio Grande
IST	Instituto Superior Técnico
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
UA	Universidade de Aveiro
UBI	Universidade da Beira Interior
UC	Universidad de Cantabria
UDC	Universidade da Coruña
UFG	Universidade Federal de Goiás
UM	Universidade do Minho
UPE	Universidade de Pernambuco
UPC	Universitat Politècnica de Catalunya
UPM	Universidad Politécnica da Madrid
UPV	Universidad del País Vasco
US	Universidad de Sevilla
UTAD	Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Comissão Organizadora / Comisión Organizadora

Prof. Vasco Peixoto de Freitas
Prof. César Díaz Gómez
Prof. Paulo Helene
Prof. Vitor Abrantes
Prof.ª Helena Corvacho
Prof. Nuno Ramos
Eng.ª Eva Barreira
Eng.ª Ana Guimarães
Eng.º João Delgado
Eng.ª Cláudia Ferreira
Eng.º Sandro Alves
Eng.º Nuno Fernandes
Eng.º Nuno Machado
Dr.ª Giselda Freitas



Índice

Palestras 1

C 1 — REHABILITACIÓN, ARQUITECTURA, FUNCIONALIDAD
César Díaz Gómez 3

C 2 — O LNEC E A REABILITAÇÃO URBANA E DOS EDIFÍCIOS
José Vasconcelos de Paiva 5

C 4 — REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS ESCOLARES
Vasco Peixoto de Freitas 11

C 5 — SISTEMAS DE INSPECÇÃO E DIAGNÓSTICO EM EDIFÍCIOS
Jorge de Brito 13

C 6 — DETERIORAÇÃO DO GRANITO EM MONUMENTOS NA REGIÃO NOROESTE DE PORTUGAL
Arlindo Begonha 25

C 7 — TRANSPORTE DE ÍONS CLORETO NO CONCRETO
Influência do Grau de Saturação
André Guimarães 27

C 8 — ¿PROGRESO VERSUS PATRIMONIO?
La Tecnología en la Rehabilitación de Centros Históricos
Joaquin Fernández Madrid 33

C 9 — AS INSTALAÇÕES DE ÁGUAS E ESGOTOS, NA PERSPECTIVA DA REABILITAÇÃO
Armando Silva Afonso 39

C 10 — PATOLOGIA DAS ARGAMASSAS DE ALVENARIA
Rosário Veiga 41

C 11 — REPARO LOCALIZADO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO
Avaliação de Procedimentos e de Materiais
Enio Pazini Figueiredo 43

C 12 — A REABILITAÇÃO NA CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL
Aníbal Costa 45

C 15 — PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN O UNA "OBRA EN TRES ACTOS"
Problema, Investigación y Rehabilitación
Luis Villegas Cabredo 47

C 16 — HIGROTÉRMICA
A Importância das Superfícies
Moret Rodrigues 49

C 17 — PATOLOGIAS DAS CONSTRUÇÕES COM MADEIRA – SUGESTÕES DE INTERVENÇÃO
J. Amorim Faria 51

C 18 — PATOLOGIA DE LAS FACHADAS LIGERAS
Joseba Escribano Villán 59

C 19 — TÉCNICAS ELETROQUÍMICAS PARA REABILITAÇÃO E PROTEÇÃO DE ESTRUTURAS
Eliana Barreto Monteiro 61

C 20 — PROBLEMAS Y SOLUCIONES PARA LA FILTRACIÓN EN FACHADAS DE EDIFICIOS SEGÚN EL CTE ESPAÑOL
Juan Monjo Carrió 63

C 21 — FACHADAS E COBERTURAS NA CIDADE ANTIGA
Conhecer e Agir
Raimundo Mendes da Silva 79

C 22 — INTERNATIONAL TRENDS IN BUILDING & CONSTRUCTION RESEARCH & DEVELOPMENT
Wim Bakens 81

C 23 — MOISTURE CONTROL AND PROBLEM ANALYSIS OF HERITAGE CONSTRUCTIONS
Hartwig M. Künzel, Andreas H. Holm 85

C 24 — THE ARCHITECTURE AND NEW MILLENNIUM, CRITICALITY AND NEW CHALLENGES
Sergio Croce 103

C 25 — TÉCNICAS DE INSPECCIÓN Y DIAGNÓSTICO APLICADAS A LA INSPECCIÓN DE FORJADOS DE MADERA
Carmen Rodríguez Liñán 105

Sessão I — Patologia da Pedra 107

I 1 — REVESTIMENTOS DE PEDRA NATURAL
Metodologia de Diagnóstico e Reparação de Anomalias
Maria do Rosário Veiga, Sofia de Olivença Malanho 109

I 2 — ANÁLISE DE ANOMALIAS E TÉCNICAS DE REPARAÇÃO EM 128 CASOS DE REVESTIMENTOS EM PEDRA NATURAL (RPN): PRINCIPAIS CONCLUSÕES
Natália M. Lima Neto, Jorge de Brito 115

I 3 — PATOLOGIA EM PEDRA NATURAL
Manchas em Revestimento de Granito Amarelo Luzelos
Rui Camposinhos, Vera Pires, J. A. R. Simão, M. L. Garcia 121

I 4 — EFEITOS DA MÁ APLICAÇÃO DE ROCHAS ORNAMENTAIS
Zenaide Gonçalves da Silva, Armando Dias Moreira 127

Sessão II — Durabilidade / Vida Útil **133**

II 1 — **ANÁLISE DA DURABILIDADE E DAS PATOLOGIAS DE ESTRUTURAS MARINHAS**
Patologias Estruturais
Eduardo Lopes de Paula, Luiz Carlos Mendes 135

II 2 — **SISTEMAS DE DESCONSTRUÇÃO DE EDIFICAÇÕES VERTICALIZADAS PATOLOGICAMENTE DEGRADADAS**
Estudo de Caso
Paulo Pérez Baldasso, Angela Borges Masuero 141

II 3 — **ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO DE FACHADAS EXPOSTAS A AMBIENTE MARINHO**
Avaliação da Aderência
Regina Ferreira de Souza, Ivan Ramalho de Almeida 147

II 4 — **ESTUDO DA ESTABILIDADE DA COR E DO BRILHO EM CIMENTOS BRANCOS MODIFICADOS**
Ana Rita Costa, Olga Rodríguez, M.ª Isabel Sánchez Rojas, Moisés Frías 153

Sessão III — Desempenho de Soluções de Reabilitação **159**

III 1 — **ESTUDIOS TÉCNICOS PARA EL ESTUDIO DE LA VIABILIDAD DE RECONSTRUCCIÓN DE UNA ESTRUCTURA PÉTREA MARINA**
Luis Villegas, Ignacio Lombillo 161

III 2 — **CONCRETOS AUTO-ADENSÁVEIS LEVES COM FIBRAS PARA REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS**
Nayara Soares Klein, António Aguado, Domènec Masó 167

III 3 — **ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO DAÑADAS POR CORROSIÓN Y REPARADAS CON POLÍMEROS REFORZADOS CON FIBRAS**
María Inés Schierloh, Viviana Rougier, Mario Larroza, Yari Frías 173

III 4 — **ANÁLISE DE APARELHOS DE APOIO PARA PREVENÇÃO DE PATOLOGIAS EM PONTES DE CONCRETO ARMADO**
Durabilidade e Vida Útil
Marcelo Gonzalez Puga, Luiz Carlos Mendes 179

Sessão IV — Estudo de Casos **185**

IV 1 — **ESTUDO DE PATOLOGIAS EM SISTEMAS PREDIAIS HIDRÁULICOS E SANITÁRIOS**
Simar Vieira de Amorim, Alessandro Pucci da Conceição 187

IV 2 — **REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS, VISANDO A AUTO-SUSTENTABILIDADE, MODIFICANDO O SISTEMA PREDIAL PARA APROVEITAR A ÁGUA PLUVIAL**
Vania Lopes Ducap, Eduardo Linhares Qualharini 193

IV 3 — **INSPECCIÓN Y EVALUACIÓN**
Estructuras Afectadas por Diferentes Patologías
Schierloh María Inés, Rougier Viviana Carolina 199

IV 4 — **CONSTRUÇÕES EM TERRA**
Causas de Degradação
Maria Idália Gomes, Paulina Faria, Teresa Diaz Gonçalves 205

Sessão V — Patologia da Argamassa 211

V 1 — **ANÁLISE COMPARATIVA DA INFLUÊNCIA DE ADITIVO INCORPORADOR DE AR E ADITIVO HIDROREPELENTE NO CRESCIMENTO DE FUNGOS EM ARGAMASSAS PARA REVESTIMENTOS ATRAVÉS DE ENSAIOS ACELERADOS**
Elidio Nunes Vieira, Mércia Bottura de Barros, Vanderley M. John, Márcia Aiko Shirakawa 213

V 2 — **ESTUDO PETROGRÁFICO DAS ARGAMASSAS DE REPARAÇÃO DE TRÊS VIADUTOS DO PORTO DE LEIXÕES**
Madalena Teles, Andreia Mota Miranda 219

V 3 — **REPARAÇÃO DE FISSURAS EM REBOCOS**
Susana Estrela, Maria do Rosário Veiga, Pedro Gameiro Henriques .. 225

V 4 — **ESTUDO DE CASO: PATOLOGIA NO SUBSISTEMA DE REVESTIMENTO DE PAREDES EXTERNAS E FACHADAS COM PLACAS CERÂMICAS**
Elaine Garrido Vazquez, Ana Jorge Evangelista, Eduardo Linhares Qualharini, Cledson dos Santos Ramos 231

Sessão VI — Comportamento de Estruturas 237

VI 1 — **COLAPSO DE UNA ESTRUCTURA DE HORMIGÓN ARMADO POR UNA INADECUADA PREVISIÓN DE ESFUERZOS EN EL DISEÑO**
Enrique Calderón Bello, Tiago Teixeira Martins, Raúl Rodríguez Escribano 239

VI 2 — **REABILITAÇÃO ESTRUTURAL APOIADA EM MODELOS 3D**
Aplicação a um Edifício Antigo
João Gonçalo Neves, Alcínia Zita Sampaio 245

VI 3 — **A IMPORTÂNCIA DA VEDAÇÃO VERTICAL NAS OBRAS DE REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS**
Aspectos que Condicionam a Escolha de Tecnologias Construtivas
Christiano Marques de Jesus, Mércia Bottura de Barros 251

VI 4 — **CLASSIFICAÇÃO DE TÉCNICAS DE REFORÇO SÍSMICO NA REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS EM ALVENARIA DE PEDRA**
Paula Lamego, Fernando A. Branco 257

VI 5 — **ANÁLISE NUMÉRICA DA EFICIÊNCIA DE REFORÇOS SÍSMICOS APLICADOS A UMA IGREJA DE ALVENARIA DE PEDRA**
Bruno Quelhas da Silva, João Miranda Guedes, Aníbal Costa 263

VI 6 — **ANÁLISE NUMÉRICA DAS TENSÕES PROVOCADAS POR RECALQUE EM LAJES SOBRE SOLO PARA FUNDAÇÃO**
Fábio Albino de Souza 269

Sessão VII — Durabilidade / Vida Útil 275

VII 1 — **DESCONSTRUÇÃO, UM COMPLEMENTO À REABILITAÇÃO**
Medidas de Promoção de Recolha e Reutilização de Materiais, Elementos e Componentes das Construções
António Lobato Santos, Jorge de Brito 277

VII 2 — **AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DO COMPORTAMENTO DE BETÃO COM CORTIÇA SUJEITO A CICLOS GELO-DEGELO**
Fernando G. Branco, M.ª de Lurdes Belgas Reis, António Tadeu 283

VII 3 — **ASPECTOS CONDICIONANTES DA VIDA ÚTIL DE ANCORAGENS DE CAVILHAS PLÁSTICAS APLICADAS EM ELEMENTOS DE BETÃO E DE ALVENARIA DE EDIFÍCIOS E SUJEITAS A TRACÇÃO E CORTE**
José Miranda Dias 289

VII 4 — **TIPIFICAÇÃO DE CLASSES DE EXPOSIÇÃO EM FACHADAS**
Condições Macro-Climáticas
Pedro Lima Gaspar, Inês Flores-Colen 295

VII 5 — **TIPOS DE VIDA ÚTIL DAS CONSTRUÇÕES**
Pedro Lima Gaspar, Jorge de Brito 301

VII 6 — **VIDA ÚTIL DE REFERÊNCIA DE REBOCOS CORRENTES EM FACHADAS**
Resultados Obtidos com Base em Levantamentos Visuais de Fachadas em Condições Reais de Serviço
Pedro Lima Gaspar, Jorge de Brito 307

Sessão VIII — Património 313

VIII 1 — **ACESSIBILIDADE, REABILITAÇÃO E PATRIMÔNIO**
O Caso Brasileiro
Oscar Luís Ferreira, Andrey Rosenthal Schlee 315

VIII 2 — **REABILITAÇÃO DA COBERTURA DO PÁTIO DAS NAÇÕES DO PALÁCIO DA BOLSA DO PORTO**
Vasco Peixoto de Freitas, Nuno Valentim Lopes, Marília Sousa Angélico 321

VIII 3 — **REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS POMBALINOS**
Hipóteses Construtivas e de Modelação
Margarida Ferreira da Rocha, João Appleton 327

VIII 4 — **REABILITAÇÃO URBANA DO CENTRO HISTÓRICO DA "BAIXINHA" DE COIMBRA**
Potencialidades Energético Ambientais na Reabilitação Urbana do Centro Histórico da "Baixinha" de Coimbra Face ao Novo RCCTE
Nuno Serafim Cruz, M.ª Isabel Morais Torres, J. A. Raimundo Mendes da Silva 333

VIII 5 — **FORTE S. JULIÃO DA BARRA.**
Obras De Recuperação
João Bessa Pinto, Nuno Gouveia de Almeida, Ana Ferreira Pinto, Marta de Sousa Malva 339

VIII 6 — **PROCEDIMENTOS PARA RESTAURO DE PINTURA MURAL, SEGUINDO OS PRINCÍPIOS GERAIS DAS CARTAS PATRIMONIAIS**
Isabeth da Silva Mello, Liane Flemming, Eduardo Linhares Qualharini 345

Sessão IX — Estudo de Casos 351

IX 1 — **REABILITAÇÃO DE CASAS NA RUA ANTÓNIO CARNEIRO: DIÁRIO DE UMA OBRA**
Adriana Floret, Esmeralda Paupério, Tiago Ilharco, João Miranda Guedes, Aníbal Costa 353

IX 2 — **PATOLOGIA DA ENVOLVENTE EXTERIOR DE CONSTRUÇÕES EDIFICADAS NO DISTRITO DE CASTELO BRANCO ENTRE 1970 E 1995**
Armando Matos Araújo, Jorge de Brito, Eduardo Júlio 359

IX 3 — **CARACTERIZAÇÃO GEOMÉTRICA E MECÂNICA DA TORRE RELÓGIO DE CAMINHA ATRAVÉS DE INSPECÇÃO VISUAL E TÉCNICAS NDT**
Bruno Quelhas da Silva, Valter Lopes, Luís Filipe Miranda, João Miranda Guedes, Esmeralda Paupério, Aníbal Costa 365

IX 4 — **LEVANTAMENTOS E DIAGNÓSTICOS DE PATOLOGIAS DE ESQUADRIAS DE MADEIRA**
Estudo de Caso na Nova Casa do Comandante, Fortaleza de Santa Cruz de Anhatomirim/Santa Catarina/Brasil
Camila Dias Numazawa, Ruth Sannabria Dendia, Ângela do Valle, Roberto Tonera 371

IX 5 — **REABILITAÇÃO DO ANTIGO CONVENTO DAS BERNARDAS EM TAVIRA**
Abordagem em Fase de Projecto
Nuno Travassos, João Appleton, Hugo Rodrigues 377

IX 6 — **RUA DA EMENDA, 49 A 65, LISBOA**
Reabilitação Estrutural
João Appleton, Vasco Appleton, Marco Figueiredo 383

Sessão X — Coberturas 389

X 1 — **AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DE SISTEMAS BETUMINOSOS DE IMPERMEABILIZAÇÃO DE COBERTURAS FIXADOS MECANICAMENTE**
Jorge Grandão Lopes, Raul Ribeiro da Silva, Luís José Almeida, João Ramôa Correia, João Gomes Ferreira 391

X 2 — **SOLUÇÕES DE REABILITAÇÃO DE COBERTURAS PLANAS. DESEMPENHO E DURABILIDADE.**
José Vieira de Sousa, Helena Corvacho 397

X 3 — **TIPIFICAÇÃO DE SOLUÇÕES DE REABILITAÇÃO DE ESTRUTURAS DE MADEIRA EM COBERTURAS DE EDIFÍCIOS ANTIGOS**
Miguel Cameira Lopes, J. Amorim Faria 403

X 4 — **PATOLOGIAS EM PAVIMENTOS E COBERTURAS DE EDIFÍCIOS**
Hélder Antunes Cruz, José Barroso de Aguiar 409

X 5 — **REABILITAÇÃO E IMPERMEABILIZAÇÃO DA COBERTURA DO MARACANÃZINHO**
João Cassim Jordy, Luiz Carlos Mendes 415

X 6 — DIAGNÓSTICO E INTERVENÇÃO ESTRUTURAL EM COBERTURAS DE MADEIRA
O Caso Da Escola Secundária Rodrigues De Freitas
Tiago Ilharco, Esmeralda Paupério, Luís Martins, João Miranda Guedes, Aníbal Costa 421

Sessão XI — Higrotérmica 427

XI 1 — PROPRIEDADES HIGROTÉRMICAS UTILIZADAS EM SIMULAÇÃO NUMÉRICA
Nuno M. M. Ramos, João M. P. Q. Delgado, Eva Barreira, Vasco Peixoto de Freitas 429

XI 2 — ANÁLISE DE CONDENSAÇÕES INTERNAS EM PAREDES
Aplicação de Modelos de Diferente Complexidade
Nuno M. M. Ramos, Eva Barreira, João M. P. Q. Delgado, Vasco Peixoto de Freitas 435

XI 3 — CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS NOS ETICS
Avaliação Experimental
Eva Barreira, Vasco Peixoto de Freitas 441

XI 4 — TRATAMENTO DA HUMIDADE ASCENSIONAL EM CONSTRUÇÕES HISTÓRICAS
Influência da Composição das Paredes
M.ª Isabel Morais Torres, Vasco Peixoto de Freitas 447

Sessão XII — Patologia da Madeira 453

XII 1 — DAÑOS EN LAS MADERAS EMPLEADAS A LA INTEMPERIE. PROBLEMAS Y SOLUCIONES
Enrique Morales Méndez 455

XII 2 — FENÔMENOS PATOLÓGICOS E CUIDADOS NAS INTERVENÇÕES DE EDIFICAÇÕES HISTÓRICAS DE MADEIRA
Edificações do Município de Antônio Prado, Rio Grande Do Sul – Brasil
Rute Ângela Driemeyer, Ângela do Valle 461

XII 3 — ENSAIO DE PRODUTOS DE CONSOLIDAÇÃO DE MADEIRA DEGRADADA POR FUNGOS
Dulce Franco Henriques, Lina Nunes, Jorge de Brito 467

XII 4 — **ENSAIOS IN SITU E LABORATORIAIS EM PAVIMENTOS DE MADEIRA**
O Caso de Um Edifício do Início do Séc. XX da Cidade do Porto
Tiago Ilharco, Esmeralda Paupério, João Miranda Guedes, António Arêde, Aníbal Costa 473

Sessão XIII — Patologia 479

XIII 1 — **METODOLOGÍA DE ANÁLISIS APLICABLE A PROCESOS PATOLOGICOS DE EXPANSIÓN POR HUMEDAD Y FLEXIÓN TRANSVERSAL EN FORJADOS CERÁMICOS**
Alfonso Martínez Luengas, Juan J. Del Coz Díaz, Ángel Martín Rodríguez, Miguel Serrano López, Javier Domínguez Hernández, Fernando López Gayarre 481

XIII 2 — **REACCIÓN ÁLCALI SÍLICE, UNA PATOLOGÍA INTERNA DEL HORMIGÓN**
Jorge Daniel Sota, Darío Falcone, Oscar Batic 487

XIII 3 — **INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES FISICAS Y CONSTRUCTIVAS EN EL BIODETERIORO DE FACHADAS VENTILADAS DE GRANITO EN CLIMA HÚMEDO**
Edificios para Laboratorios de Investigación de la Universidad de Santiago de Campostela
Julia Míguez Rey, Joaquín Fernández Madrid 493

XIII 4 — **ANÁLISIS DE PATOLOGÍAS DETECTADAS EN EDIFICIOS DEL PATRIMONIO MODERNO EJECUTADOS EN HORMIGÓN ARMADO**
Luis P. Traversa, Yuri Villagran Zacardi, Fabian H. Iloro, Sebastian O. Marquez 499

Sessão XIV — Desempenho de Soluções de Reabilitação 505

XIV 1 — **SOLUÇÕES SUSTENTÁVEIS NA REABILITAÇÃO DAS CONSTRUÇÕES DE HOTELARIA**
Silvana Brandão Machado, Eduardo Linhares Qualharini 507

XIV 2 — **MÉTODO DE AVALIAÇÃO DAS NECESSIDADES DE REABILITAÇÃO**
Desenvolvimento e Metodologia de Aplicação
António Vilhena, João Branco Pedro, José Vasconcelos de Paiva, António Baptista Coelho, João Bento 513

XIV 3 — PARÂMETROS EM SERVIÇO MEDIDOS EM AMOSTRAS RECOLHIDAS IN-SITU
Massa Volúmica e Porosidade Aparentes
Inês Flores-Colen, Luís Silva, Jorge de Brito, Vasco Peixoto de Freitas 519

XIV 4 — MÉTODO DE AVALIAÇÃO DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO DE IMÓVEIS
Análise de Dois Anos de Aplicação
João Branco Pedro, António Vilhena, José Vasconcelos de Paiva 525

Sessão XV — Estudo de Casos 531

XV 1 — INTERACÇÃO E CONDICIONANTES ENTRE SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS DE ÉPOCAS DISTINTAS
Contribuição para o Estudo da Sé Catedral de Aveiro
Adelino Ferreira Lopes, M.ª Isabel Morais Torres, J. A. Raimundo Mendes da Silva, Romeu Vicente 533

XV 2 — A EFICÁCIA NOS PROCESSOS DE RECUPERAÇÃO DE PATOLOGIAS EM EDIFICAÇÕES NO ESTADO DE MINAS GERAIS
Ana Veloso Valente, Adriano de Paula e Silva, José Fonseca Calixto. 539

XV 3 — A HABITAÇÃO COLECTIVA MODERNA DO PORTO – REABILITAÇÃO E MANUTENÇÃO
Apresentação de Um Caso Prático
Ana da Franca 545

XV 4 — ESTRATÉGIAS NA REABILITAÇÃO DOS LABORATÓRIOS DE PESQUISAS BIOMÉDICAS DA FIOCRUZ – BRASIL
Sergio Vieira de Souza, Eduardo Linhares Qualharini 551

Sessão XVI — Higrotérmica 557

XVI 1 — ADERÊNCIA DE REVESTIMENTOS CONTÍNUOS DE GESSO A CAMADAS CONTÍNUAS IMPERMEÁVEIS AO VAPOR
Carlos A. C. Mesquita, Luís de Villanueva Domínguez 559

XVI 2 — INÉRCIA HIGROSCÓPICA EM MUSEUS INSTALADOS EM EDIFÍCIOS ANTIGOS
Vasco Peixoto de Freitas, Cláudia Ferreira 565

XVI 3 — AVALIAÇÃO DO RISCO DE OCORRÊNCIA DE CONDENSAÇÕES NAS FACHADAS DOS EDIFÍCIOS
Uma Abordagem Preliminar
Daniel Aelenei, Fernando M. A. Henriques 571

XVI 4 — AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DOS NÍVEIS DE QUALIDADE DE AR INTERIOR EM QUARTOS DE DORMIR
Um Caso de Estudo
João Maia dos Santos, Daniel Aelenei 577

XVI 5 — HUMIDADES EM CONSTRUÇÕES HISTÓRICAS
Levantamento de Patologias
David Filipe Faria Branco, M.ª Isabel Morais Torres 583

XVI 6 — INFLUÊNCIA DA CONFIGURAÇÃO DE UM SISTEMA DE VENTILAÇÃO NATURAL NO CAUDAL DE EXTRAÇÃO DE UMA INSTALAÇÃO SANITÁRIA
Manuel Pinto, Vasco Peixoto de Freitas 589

Sessão XVII — Argamassas 595

XVII 1 — PROPOSTA DE AVALIAÇÃO EM LABORATÓRIO DO LASCAMENTO EXPLOSIVO DO CONCRETO SUBMETIDO A TEMPERATURAS ELEVADAS
Armando Moreno Júnior, Adriana Ambrosio de Souza 597

XVII 2 — IMPERMEABILIZAÇÃO COM REBOCOS PRÉ-DOSEADOS EM REVESTIMENTOS EXTERIORES VERSUS IMPERMEABILIZAÇÃO COM REBOCOS TRADICIONAIS
Laureano Leite Costa, Anabela Correia de Paiva, José Barbosa Vieira603

XVII 3 — ADIÇÃO DE FIBRAS DE SISAL EM DIFERENTES COMPOSIÇÕES DE REBOCOS
Luís F. A. Dias, Anabela Correia de Paiva, José Barbosa Vieira 609

XVII 4 — ARGAMASSAS DE CAL AÉREA COM RESÍDUOS DE CERÂMICA DE BARRO VERMELHO
Gina Matias, M.ª Isabel Morais Torres, Paulina Faria 615

XVII 5 — DIAGNÓSTICO DAS DETERIORAÇÕES DO BETÃO DO VIADUTO DA VIA RÁPIDA
Andreia Mota Miranda, Madalena Teles 621

XVII 6 — A ARGAMASSA DE REVESTIMENTO E O SEU EFEITO RETARDADOR NA PENETRAÇÃO DE CLORETOS NO BETÃO: INFLUÊNCIA DA DOSAGEM
Raphaele Malheiro, Munique Silva de Lima, Gibson Rocha Meira, Normando Perazzo 627

Sessão XVIII — Fachadas 633

XVIII 1 — FACHADA VENTILADA
Pérdidas Energéticas Derivadas Del Sistema De Anclaje
Francisco López Rivadulla, Victor Echarri Iribarren, Patricia Alonso Alonso, Joaquín Fernández Madrid 635

XVIII 2 — COMPORTAMIETO DE LA FACHADA TRASVENTILADA
Estudio de la Influencia de la Presión del Viento y la Presencia del Agua en la Fachada Trasventilada
Miguel Carballido Pensado, Ignacio Hortas López, Juan López Villanueva, Pablo Noya Suarez, José Paniagua Brea, Joaquín Fernández Madrid 641

XVIII 3 — FACHADAS VENTILADAS DE PIEDRA
Influencia de la Temperatura en la Colonización Biológica
Francisco López Rivadulla, Patricia Alonso Alonso, Joaquín Fernández Madrid 647

XVIII 4 — ANÁLISE DA PRÁTICA USUAL DE REVESTIMENTO CERÂMICO EM FACHADAS NAS EMPRESAS PARTICIPANTES DO PROGRAMA DE MELHORIA DA COMUNIDADE DA CONSTRUÇÃO DE FORTALEZA
Yolanda Montenegro de Moura, M.ª Aridenise Macena Fontenele 653

XVIII 5 — MÉTODOS DE VERIFICAÇÃO DO DESEMPENHO EM SERVIÇO DE FACHADAS REBOCADAS
Inês Flores-Colen, Jorge de Brito, Vasco Peixoto de Freitas 659

XVIII 6 — CAUSAS DA QUEDA DE AZULEJOS APLICADOS EM EXTERIOR DE EDIFÍCIOS
Azulejaria de Padrão em Edifícios de 1850 - 1920
Luíz Mariz Ferreira, João Coroado, Vasco Peixoto de Freitas, Itxaso Maguregui 665

Sessão XIX — Soluções de Reabilitação 671

XIX 1 — METODOLOGIA PARA AVALIAR A EFICIÊNCIA DAS TÉCNICAS DE REFORÇO
Aníbal Costa, Filipe Neves, Carlos Sousa Oliveira 673

XIX 2 — ANÁLISE COMPARATIVA DA EFICÁCIA DE SISTEMAS DE REPARO TRADICIONAIS UTILIZADOS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO COM CORROSÃO DE ARMADURAS POR ÍONS CLORETO
Eliana Barreto Monteiro, K. S. Almeida, S. A. Monteiro, Manuela Queiroz Oliveira 679

XIX 3 — **RACIONALIZAÇÃO DO PROJETO E SEUS REFLEXOS COM APLICAÇÃO DA AUTOMAÇÃO EM EDIFICAÇÕES VERTICALIZADAS**
Osvaldo Ribeiro da Cruz Filho, Eduardo Linhares Qualharini 685

XIX 4 — **PATOLOGIA DO EDIFICADO ANTIGO**
Anomalias dos Edifícios Antigos da Baixa de Coimbra
Romeu Vicente, J. A. Raimundo Mendes da Silva, Humberto Varum .. 691

XIX 5 — **TIPIFICAÇÃO DAS ALTERAÇÕES CORRENTEMENTE INTRODUZIDAS NO SISTEMA CONSTRUTIVO DAS CASAS ANTIGAS DO PORTO**
Joaquim Teixeira, Rui Fernandes Póvoas 697

XIX 6 — **PRINCÍPIOS CONSTRUTIVOS JAPONESES QUE INFLUENCIARAM NA MELHOR DURABILIDADE DE EDIFICAÇÕES NO MUNICÍPIO DE TOMÉ-AÇÚ/PARÁ/BRASIL**
Camila Dias Numazawa, Ângela do Valle 703

Sessão XX — Estudo de Casos 709

XX 1 — **CARACTERIZAÇÃO CONSTRUTIVA E DE ANOMALIAS CORRENTES NOS EDIFÍCIOS DE ALVENARIA DE ADOBE**
O Caso de Estudo de Aveiro
Carina Fonseca Ferreira, Romeu Vicente, Aníbal Costa, Humberto Varum 711

XX 2 — **ANÁLISE DO GRAU DE DETERIORAÇÃO NAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO**
Estudo de Edifício Residencial na Região Metropolitana do Recife – Pernambuco
Eudes de Arimatéa Rocha, Milena do Rego de Souza, Eliana Barreto Monteiro, Romilde Almeida de Oliveira 717

XX 3 — **REABILITAÇÃO E AMPLIAÇÃO DE UM EDIFÍCIO NA RUA VICTOR CORDON, N.º 11, EM LISBOA**
Projecto e Obra
José Delgado, João Appleton, João Saraiva 723

XX 4 — **REABILITAÇÃO DE UM EDIFÍCIO NA RUA VICTOR CORDON, N.º 23-27, LISBOA**
Demolição e Reconstrução Através de Técnicas Tradicionais
Pedro Ribeiro, João Appleton, Rui Pombo 729

XX 5 — **A MODELAÇÃO NA AVALIAÇÃO E REFORÇO DE ESTRUTURAS**
O Caso de Estudo de Um Edifício de 6 Pisos
Alexandre A. Costa, Aníbal Costa, Vitor Abrantes 735

XX 6 — EVALUACIÓN DEL ESTADO FÍSICO Y ESTRUCTURAL DEL EDIFICIO MACIEL DE LA CIUDAD DE TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS, MÉXICO
José Ortíz Lozano, Francisco Alonso Farrera, José Castellanos Castellanos, Mario Zermeño de León, Alejandra Gómez Mendoza 741

Sessão XXI — Técnicas de Diagnóstico 747

XXI 1 — EVALUACIÓN PREVENTIVA DE LA SEGURIDAD DE LOS EDIFICIOS DE LA MANZANA ESCODINES DE MANRESA (BARCELONA)
César Díaz, Antoni Griera, Còssima Cornadó, Pere Santamaría 749

XXI 2 — TÉCNICAS NO DESTRUCTIVAS APLICABLES AL DIAGNÓSTICO DE MUROS DE FÁBRICA
Ignacio Lombillo, Luis Villegas, Jorge Elices 755

XXI 3 — TECNICAS DE ULTRASONIDOS APLICADAS AL RECONOCIMIENTO "IN SITU" DE DISCONTINUIDADES VISIBLES EN SOLERAS DE HORMIGÓN ARMADO
J. LL. Zamora-Mestre, M. J. García Hernández 761

XXI 4 — ESTUDIO DIAGNÓSTICO DE LOS MATERIALES PÉTREOS DE LAS FACHADAS DEL AYUNTAMIENTO DE ELX
Miguel Louis Cereceda, Yolanda Spairani Berrio, M. A. García del Cura, R. Prado Govea, José Huesca Tortosa, Silvia Spairani Berrio ... 767

Sessão XXII — Estudo de Casos 773

XXII 1 — RELEVAMIENTO DE DAÑOS ESTRUCTURALES Y NO ESTRUCTURALES OCASIONADOS POR SISMOS EN ZONA DE SISMICIDAD MODERADA
Carlos Alberto Rodríguez, Oscar Dip, Enrique E. Galíndez 775

XXII 2 — REHABILITANDO EL SIGLO XX
Paloma Rubio de Hita, Ángela Barrios Padura, Filomena Pérez Gálvez, Carmen Rodríguez Liñán 781

XXII 3 — ESTUDIO DIAGNÓSTICO DE LA IGLESIA DE SAN JOSÉ EN ELCHE
Grietas y Fisuras
M.ª Francisca Céspedes López, Raúl T. Mora García, Silvia Spairani Berrio, Miguel Louis Cereceda 787

XXII 4 — ESTUDIO HISTÓRICO Y CONSTRUCTIVO DE LA IGLESIA DEL SAGRADO CORAZÓN DE JESÚS EN ELCHE
Silvia Spairani Berrio, M.ª Francisca Céspedes López, Raúl T. Mora García, Miguel Louis Cereceda, Yolanda Spairani Berrio, José Huesca Tortosa 793

Sessão XXIII — Soluções de Reabilitação 799

XXIII 1 — REABILITAÇÃO DE UM EDIFÍCIO NA RUA DO JARDIM DO REGEDOR, N.º 27-35, LISBOA
Reabilitação Estrutural e Reforço Sísmico Mantendo a Estrutura Original
Rui Pombo, Pedro Ribeiro, João Appleton 801

XXIII 2 — DETERIORAÇÃO DO GRANITO NA IGREJA DE NOSSA SENHORA DA LAPA NO PORTO
Arlindo Begonha 807

XXIII 3 — DO DIAGNÓSTICO À INTERVENÇÃO DE CONSERVAÇÃO EM PEDRA GRANÍTICA
O Caso Da Igreja Dos Terceiros Da Ordem De São Francisco (Porto)
Bruna Pereira de Oliveira, Maria Amélia Dionísio, Teresa Silveira, M.ª Amália Sequeira Braga, Ana Z. Miller, Maria Filomena Macedo 813

XXIII 4 — TIPOLOGIAS E PRINCIPAIS DANOS OBSERVADOS EM CONSTRUÇÕES DE XISTO
Ricardo S. Barros, Daniel V. Oliveira, Humberto Varum 819

Sessão XXIV — Estudo de Casos 825

XXIV 1 — SISTEMA HIGRO-REGULÁVEL DE VENTILAÇÃO DA BASE DAS PAREDES PARA TRATAMENTO DA HUMIDADE ASCENSIONAL EM EDIFÍCIOS ANTIGOS
Ana Sofia Guimarães, Vasco Peixoto de Freitas 827

XXIV 2 — REVESTIMENTOS COMPATÍVEIS PARA PAREDES ANTIGAS SUJEITAS A CAPILARIDADE ASCENDENTE
Aplicação a Um Caso de Estudo
Maria do Rosário Veiga, Ana Fragata, Martha Tavares, Ana Cristian Magalhães, Nuno Ferreira 833

XXIV 3 — MATERIAIS POROSOS INORGÂNICOS NO PATRIMÓNIO ARQUITECTÓNICO
Avaliação da Absorção Capilar
Paulina Faria 839

XXIV 4 — PROCESSOS TRADICIONAIS DE EXECUÇÃO DE UMA ARGAMASSA
Cal Viva Extinta com a Areia .....
Maria Goreti Margalha, Maria do Rosário Veiga, Jorge de Brito 845

Sessão XXV — Estratégia e Incentivos / Custos **851**

XXV 1 — REHABILITAR PARA REDUCIR EL CONSUMO ENERGÉTICO
Marta Molina Huelva 853

XXV 2 — DESARROLLO DE UN SISTEMA PARA EL INVENTARIO Y EVALUACIÓN DE VIVIENDAS Y CARRETERAS DAÑADAS EN MÉXICO
Francisco Alonso Farrera, José Ortíz Lozano, Joan Casas Rius, José Castellanos Castellanos, José Grajales Marín, Marisol Magaña Aguilar 859

XXV 3 — VARIABILIDADE DE CUSTOS DE REABILITAÇÃO NA ENVOLVENTE EXTERIOR DE EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO
Elsa Pinheiro, Carina Sousa, João Gonçalves Lanzinha 865

XXV 4 — IMPORTÂNCIA DOS FUNDOS DE RESERVA DOS CONDOMÍNIOS NA MANUTENÇÃO E REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS
João Gonçalves Lanzinha, Vasco Peixoto de Freitas 871

Sessão XXVI — Manutenção **877**

XXVI 1 — GESTÃO TÉCNICA DE EDIFÍCIOS
Enquadramento e Princípios para um Modelo Nacional de Garantias Contra Defeitos na Construção
Nuno M. Almeida, Vitor Sousa, L. M. Alves Dias, Fernando A. Branco 879

XXVI 2 — APLICAÇÃO DE TÉCNICAS NDT A EDIFÍCIOS DE ALVENARIA DE PEDRA NA CIDADE DO PORTO
Luís Filipe Miranda, João Miranda Guedes, Aníbal Costa 885

XXVI 3 — EXEMPLO DE APLICAÇÃO DAS TIC NA REABILITAÇÃO: PROJECTO HKNOW DO 7.º PQ
Alfredo Soeiro, Ana Sá 891

XXVI 4 — A INTERNET COMO MEIO DE DISSEMINAÇÃO DE UM CATÁLOGO DE PATOLOGIAS
www.patorreb.com
Vasco Peixoto de Freitas, Sandro Alves, Marília Sousa Angélico 897

Sessão XXVII — Escolas **903**

XXVII 1 — A APLICAÇÃO DE MÉTODOS DE ANÁLISE DE RISCO NA GESTÃO DA MANUTENÇÃO DE PARQUES EDIFICADOS ESCOLARES
Sónia Raposo, Manuel Fonseca, Jorge de Brito 905

XXVII 2 — CARACTERIZAÇÃO DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO DO PARQUE ESCOLAR DA REGIÃO CENTRO
António Gama, Eduardo Júlio 911

XXVII 3 — CONSTRUÇÕES ESCOLARES EM PORTUGAL
Tipologias Construtivas e Principais Anomalias Estruturais e de Desempenho em Serviço
Fernando A. Branco, Jorge de Brito, João Gomes Ferreira, João Ramôa Correia, Pedro Vaz Paulo, Inês Flores-Colen 917

XXVII 4 — COLÉGIO DE S. SEBASTIÃO, EM PORTALEGRE
Reabilitação Estrutural
Vasco Appleton, João Appleton 923

Sessão XXVIII — Soluções de Reabilitação **929**

XXVIII 1 — METODOLOGIA DE SIMULAÇÃO COM VISTA À REABILITAÇÃO ENERGETICAMENTE EFICIENTE
Pedro Silva, Manuela Almeida, Luís Bragança, Vasco Mesquita 931

XXVIII 2 — REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS EXISTENTES
Avaliação Exigencial da Qualidade Térmica
Susana de Jesus Santos, João Gonçalves Lanzinha 937

XXVIII 3 — INTERVENÇÃO EM AZULEJOS DE EXTERIOR
Possibilidades Técnicas e Critérios
Luíz Mariz Ferreira, João Coroado, Vasco Peixoto de Freitas, Itxaso Maguregui 943

XXVIII 4 — VANTAGENS E CONDICIONANTES DA APLICAÇÃO DE "ETICS" EM REABILITAÇÃO DE FACHADAS
Apoio à Decisão e Casos de Estudo
J. A. Raimundo Mendes da Silva, M.ª Isabel Morais Torres, Vitor Hugo Abalada 949

XXVIII 5 — DIAGNÓSTICO COMPARATIVO DA EFICÁCIA DOS SILANOS APLICADOS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO COM CORROSÃO DE AMADURAS POR ÍONS CLORETOS
Eliana Barreto Monteiro, K. S. Almeida, S. A. Monteiro, Manuela Queiroz Oliveira 955

Sessão XXIX — Estudo de Casos **961**

XXIX 1 — ESTUDO DAS CAUSAS DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS EM FACHADAS
O Caso de Uma Obra do Programa de Melhoria da Comunidade da Construção de Fortaleza
Mairton Santos de Sousa, M.ª Aridenise Macena Fontenele 963

XXIX 2 — ESTUDO DAS CAUSAS DE DESPLACAMENTO CERÂMICO DA FACHADA PRINCIPAL DE UM EDIFÍCIO COMERCIAL LOCALIZADO EM ÁREA DE AGRESSIVIDADE AMBIENTAL III
Sérgio Lemos, Eliana Barreto Monteiro, Manuela Queiroz Oliveira, Ana Menêzes Mota 967

XXIX 3 — AVALIAÇÃO DE SEGURANÇA DE UMA CHAMINÉ DE ALVENARIA EM TIJOLO
Valter Lopes, João Miranda Guedes, Esmeralda Paupério, Aníbal Costa 973

XXIX 4 — DIMENSIONAMENTO DE REVESTIMENTOS EM PEDRA NATURAL COM FIXAÇÃO POR CAVILHAS
Soluções em Granito
Maria de Fátima Silva, Rui Camposinhos 979

XXIX 5 — MANTENABILIDADE DE ESTRUTURAS BASEADAS EM INSPEÇÃO: ESTUDO DE CASO
Jairo de Oliveira Andrade, Inês Martina Lersch 985

Sessão XXX — Estratégia e Incentivos / Custos **991**

XXX 1 — REABILITAÇÃO TÉRMICA NO SECTOR RESIDENCIAL
Estratégias e Medidas
Carlos Pina dos Santos, Rodrigo Rodrigues, António Vilhena 993

XXX 2 — GANHOS DE PERFORMANCE COM A GESTÃO DE QSMS EM OBRAS DE RETROFIT
Jorge dos Santos, Ana Jorge Evangelista 999

XXX 3 — DESVIOS E QUALIDADES DA INTERVENÇÃO NO EDIFICADO DO CENTRO HISTÓRICO DO PORTO
Manutenção da Autenticidade
José Resende, Francisco Sousa Rio 1005

XXX 4 — A UTILIZAÇÃO DA INSPEÇÃO PREDIAL COMO FERRAMENTA ESTRATÉGICA PARA DIAGNÓSTICO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS E DE AVALIAÇÃO DAS TÉCNICAS, DE USO E DE MANUTENÇÃO DAS EDIFICAÇÕES
Paulo Pérez Baldasso 1011

XXX 5 — O PROJECTO PRONIC® E A METODOLOGIA DE ABORDAGEM À REABILITAÇÃO
Hipólito Sousa, Joaquim Moreira, Pedro Mêda 1017

CIB-W086 1023

1 — BUILDING DIAGNOSTIC AND PATHOLOGICAL ANALYSIS OF RESIDENTIAL BUILDINGS OF BUDAPEST
Ádám Bukovics 1025

2 — COMASS – COMPREHENSIVE MAINTAINABILITY SCORING SYSTEM FOR BUILDINGS
M.Y.L. Chew, Sutapa Das 1031

LISTA DE AUTORES

Ádám Bukovics 1025
Adelino Ferreira Lopes 533
Adriana Ambrosio de Souza 597
Adriana Floret 353
Adriano de Paula e Silva 539
Alcínia Zita Sampaio 245
Alejandra Gómez Mendoza 741
Alessandro Pucci da Conceição187
Alexandre A. Costa 735
Alfonso Martínez Luengas 481
Alfredo Soeiro 891
Ana Cristian Magalhães 833
Ana da Franca 545
Ana Ferreira Pinto 339
Ana Fragata 833
Ana Jorge Evangelista 231, 999
Ana Menêzes Mota 967
Ana Rita Costa 153
Ana Sá 891
Ana Sofia Guimarães 827
Ana Veloso Valente 539
Ana Z. Miller 813
Anabela Correia de Paiva 603, 609
André Guimarães 27
Andreas H. Holm 85
Andreia Mota Miranda 219, 621
Andrey Rosenthal Schlee 315
Ángel Martín Rodríguez 481
Ángela Barrios Padura 781
Angela Borges Masuero 141
Ângela do Valle 371, 461, 703
Aníbal Costa..... 45, 263, 353, 365, 421, 473, 673, 711, 735, 885, 973
Antoni Griera 749
António Aguado 167
António Arêde 473
António Baptista Coelho 513
António Gama 911
António Lobato Santos 277
António Tadeu 283
António Vilhena 513, 525, 993
Arlindo Begonha 25, 807
Armando Dias Moreira 127
Armando Matos Araújo 359
Armando Moreno Júnior 597
Armando Silva Afonso 39
Bruna Pereira de Oliveira 813
Bruno Quelhas da Silva ... 263, 365
Camila Dias Numazawa... 371, 703
Carina Fonseca Ferreira 711
Carina Sousa 865
Carlos A. C. Mesquita 559
Carlos Alberto Rodríguez 775
Carlos Pina dos Santos 993
Carlos Sousa Oliveira 673
Carmen Rodríguez Liñán. 105, 781
César Díaz Gómez 3, 749
Christiano Marques de Jesus ..251
Cláudia Ferreira 565
Cledson dos Santos Ramos..... 231

Còssima Cornadó 749
Daniel Aelenei..... 571, 577
Daniel V. Oliveira 819
Darío Falcone 487
David Filipe Faria Branco..... 583
Domènec Masó 167
Dulce Franco Henriques..... 467
Eduardo Júlio..... 359, 911
Eduardo Linhares Qualharini.. 193,
..... 231, 345, 507, 551, 685
Eduardo Lopes de Paula..... 135
Elaine Garrido Vazquez 231
Eliana Barreto Monteiro..... 61,
.....679, 717, 955, 967
Elidio Nunes Vieira..... 213
Elsa Pinheiro..... 865
Enio Pazini Figueiredo 43
Enrique Calderón Bello 239
Enrique E. Galíndez..... 775
Enrique Morales Méndez..... 455
Esmeralda Paupério..... 353, 365,
..... 421, 473, 973
Eudes de Arimatéa Rocha..... 717
Eva Barreira..... 429, 435, 441
Fabian H. Iloro 499
Fábio Albino de Souza 269
Fernando A. Branco 257, 879, 917
Fernando G. Branco..... 283
Fernando López Gayarre 481
Fernando M. A. Henriques 571
Filipe Neves..... 673
Filomena Pérez Gálvez..... 781
Francisco Alonso Farrera 741, 859
Francisco López Rivadulla635, 647
Francisco Sousa Rio 1005
Gibson Rocha Meira.....627
Gina Matias.....615
Hartwig M. Künzel 85
Hélder Antunes Cruz 409
Helena Corvacho.....397
Hipólito Sousa 1017
Hugo Rodrigues 377
Humberto Varum 691, 711, 819
Ignacio Hortas López.....641
Ignacio Lombillo 161, 755
Inês Flores-Colen 295, 519,
.....659, 917
Inês Martina Lersch.....985
Isabeth da Silva Mello 345
Itxaso Maguregui..... 665, 943
Ivan Ramalho de Almeida.....147
J. A. R. Simão 121
J. A. Raimundo Mendes da Silva ..
.....79, 333, 533, 691, 949
J. Amorim Faria.....51, 403
J. LL. Zamora-Mestre 761
Jairo de Oliveira Andrade 985
Javier Domínguez Hernández..481
Joan Casas Rius 859
João Appleton 327, 377, 383,
..... 723, 729, 801, 923
João Bento.....513
João Bessa Pinto 339
João Branco Pedro..... 513, 525
João Cassim Jordy.....415
João Coroado..... 665, 943
João Gomes Ferreira..... 391, 917
João Gonçalo Neves 245

João Gonçalves Lanzinha ..... 865, ... 871, 937
João M. P. Q. Delgado 429, 435
João Maia dos Santos 577
João Miranda Guedes .... 263, 353, ... 365, 421, 473, 885, 973
João Ramôa Correia 391, 917
João Saraiva 723
Joaquim Moreira 1017
Joaquim Teixeira 697
Joaquin Fernández Madrid ..... 33, ... 493, 635, 641, 647
Jorge Daniel Sota 487
Jorge de Brito ... 13, 115, 277, 301, ... 307, 359, 467, 519, ... 659, 845, 905, 917
Jorge dos Santos 999
Jorge Elices 755
Jorge Grandão Lopes 391
José Barbosa Vieira 603, 609
José Barroso de Aguiar 409
José Castellanos Castellanos 741, ... 859
José Delgado 723
José Fonseca Calixto 539
José Grajales Marín 859
José Huesca Tortosa 767, 793
José Miranda Dias 289
José Ortíz Lozano 741, 859
José Paniagua Brea 641
José Resende 1005
José Vasconcelos de Paiva ..... 5, ... 513, 525
José Vieira de Sousa 397
Joseba Escribano Villán 59
Juan J. Del Coz Díaz 481
Juan López Villanueva 641
Juan Monjo Carrió 63
Julia Míguez Rey 493
K. S. Almeida 679, 955
L. M. Alves Dias 879
Laureano Leite Costa 603
Liane Flemming 345
Lina Nunes 467
Luís Bragança 931
Luís de Villanueva Domínguez 559
Luís F. A. Dias 609
Luís Filipe Miranda 365, 885
Luís José Almeida 391
Luís Martins 421
Luis P. Traversa 499
Luís Silva 519
Luis Villegas Cabredo 47, 161, 755
Luiz Carlos Mendes. 135, 179, 415
Luíz Mariz Ferreira 665, 943
M. A. García del Cura 767
M. Amália Sequeira Braga 813
M. Aridenise Macena Fontenele 653, 963
M. de Lurdes Belgas Reis 283
M. Francisca Céspedes López 787, 793
M. Isabel Morais Torres .. 333, 447, ... 533, 583, 615, 949
M. Isabel Sánchez Rojas 153
M. J. García Hernández 761
M. L. Garcia 121
M. Y. L. Chew 1031
Madalena Teles 219, 621

Mairton Santos de Sousa 963
Manuel Fonseca..... 905
Manuel Pinto..... 589
Manuela Almeida 931
Manuela Queiroz Oliveira..... 679, ... 955, 967
Marcelo Gonzalez Puga 179
Márcia Aiko Shirakawa..... 213
Marco Figueiredo 383
Margarida Ferreira da Rocha .. 327
Maria Amélia Dionísio 813
Maria de Fátima Silva 979
Maria do Rosário Veiga.... 41, 109, ... 225, 833, 845
Maria Filomena Macedo..... 813
Maria Goreti Margalha..... 845
Maria Idália Gomes 205
María Inés Schierloh 173
Marília Sousa Angélico.... 321, 897
Mario Larroza..... 173
Mario Zermeño de León 741
Marisol Magaña Aguilar..... 859
Marta de Sousa Malva 339
Marta Molina Huelva 853
Martha Tavares..... 833
Mércia Bottura de Barros 213, 251
Miguel Cameira Lopes 403
Miguel Carballido Pensado..... 641
Miguel Louis Cereceda..... 767, ... 787, 793
Miguel Serrano López 481
Milena do Rego de Souza 717
Moisés Frías 153
Moret Rodrigues 49
Munique Silva de Lima 627
Natália M. Lima Neto 115
Nayara Soares Klein.....167
Normando Perazzo.....627
Nuno Ferreira 833
Nuno Gouveia de Almeida 339
Nuno M. Almeida.....879
Nuno M. M. Ramos.....429, 435
Nuno Serafim Cruz.....333
Nuno Travassos 377
Nuno Valentim Lopes 321
Olga Rodríguez 153
Oscar Batic 487
Oscar Dip 775
Oscar Luís Ferreira 315
Osvaldo Ribeiro da Cruz Filho .685
Pablo Noya Suarez.....641
Paloma Rubio de Hita.....781
Patricia Alonso Alonso.....635, 647
Paula Lamego 257
Paulina Faria 205, 615, 839
Paulo Pérez Baldasso ... 141, 1011
Pedro Gameiro Henriques 225
Pedro Lima Gaspar . 295, 301, 307
Pedro Mêda.....1017
Pedro Ribeiro 729, 801
Pedro Silva.....931
Pedro Vaz Paulo 917
Pere Santamaría 749
R. Prado Govea.....767
Raphaele Malheiro 627
Raul Ribeiro da Silva.....391
Raúl Rodríguez Escribano 239

Raúl T. Mora García..... 787, 793
Regina Ferreira de Souza 147
Ricardo S. Barros..... 819
Roberto Tonera..... 371
Rodrigo Rodrigues 993
Romeu Vicente 533, 691, 711
Romilde Almeida de Oliveira ... 717
Rougier Viviana Carolina..... 199
Rui Camposinhos..... 121, 979
Rui Fernandes Póvoas..... 697
Rui Pombo..... 729, 801
Rute Ângela Driemeyer..... 461
Ruth Sannabria Dendia..... 371
S. A. Monteiro..... 679, 955
Sandro Alves 897
Schierloh María Inés 199
Sebastian O. Marquez..... 499
Sergio Croce..... 103
Sérgio Lemos..... 967
Sergio Vieira de Souza..... 551
Silvana Brandão Machado 507
Silvia Spairani Berrio767, 787, 793
Simar Vieira de Amorim 187
Sofia de Olivença Malanho..... 109
Sónia Raposo 905
Susana de Jesus Santos..... 937
Susana Estrela..... 225
Sutapa Das..... 1031
Teresa Diaz Gonçalves..... 205
Teresa Silveira..... 813
Tiago Ilharco..... 353, 421, 473
Tiago Teixeira Martins..... 239
Valter Lopes..... 365, 973
Vanderley M. John.....213
Vania Lopes Ducap 193
Vasco Appleton 383, 923
Vasco Mesquita.....931
Vasco Peixoto de Freitas..11, 321, ...429, 435, 441, 447, 519, 565, 589, 659, 665, 827, 871, 897, 943
Vera Pires 121
Victor Echarri Iribarren 635
Vitor Abrantes 735
Vitor Hugo Abalada 949
Vitor Sousa 879
Viviana Rougier.....173
Wim Bakens 81
Yari Frías 173
Yolanda Montenegro de Moura653
Yolanda Spairani Berrio...767, 793
Yuri Villagran Zacardi 499
Zenaide Gonçalves da Silva 127



SESSÃO XIV

DESEMPENHO DE SOLUÇÕES DE REABILITAÇÃO

SOLUÇÕES SUSTENTÁVEIS NA REABILITAÇÃO DAS CONSTRUÇÕES DE HOTELARIA

Silvana Rocha Brandão Machado*
silv.rocha@globo.com

Eduardo Linhares Qualharini†
qualharini@all.com.br

Resumo

A preocupação com a "Sustentabilidade" nas construções de hotelaria vem propiciando a adoção de soluções técnicas que visam preservar o meio ambiente, além de possibilitar um novo patamar no credenciamento (número de estrelas) do estabelecimento hoteleiro. No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) [1] publicou a NBR 15401, que traz parâmetros objetivos e verificáveis, relativos à preservação do meio ambiente no ramo hoteleiro, e nesta direção, também, o *Instituto de Hospitalidade*, desenvolveu o "Programa de Certificação em Turismo Sustentável" (PCTS), com atualmente, 340 estabelecimentos de hospedagem (hotéis e pousadas), em processo de qualificação para a "Sustentabilidade".

Assim, são preocupações objetivas dos técnicos que as requalificações e reabilitações possam equipar a edificação com instrumentação e dispositivos que economizem água e energia elétrica - sem, entretanto, causar a descontinuidade das atividades hoteleiras, isto se faz, também, presente no tratamento e eliminação dos rejeitos e resíduos; na segurança física - patrimonial e ambiental da edificação, na acessibilidade aos hóspedes, com problemas de locomoção e na inserção de contemporaneidade nas telecomunicações, não permitindo que estas fiquem defasadas. Portanto, este artigo conduzirá a descrição e crítica das metodologias de reabilitação/requalificação na indústria hoteleira e a conseqüente certificação pelas instruções vigentes no Brasil.

Palavras-chave: Reabilitação hoteleira sustentável, Requalificação na hotelaria.

1 Introdução

A ABIH [2], Associação Brasileira da Indústria de Hotéis, é a representante oficial dos meios de hospedagem no Brasil, sendo a entidade mais antiga do

* Arquiteta, M.Sc., Profª. da Faculdade de Engenharia da Universidade Veiga de Almeida (RJ), pesquisadora do NPAC - Núcleo de Pesquisas do Ambiente Construído.

† Eng. Civil, D.Sc., Prof. Associado da Escola Politécnica da UFRJ e do Prog. de Pós-graduação em Arquitetura da FAU/UFRJ, Coordenador do NPAC.

trade turístico nacional, com quase setenta anos de existência. Segundo a ABIH, o parque hoteleiro brasileiro possui hoje, aproximadamente 25 mil meios de hospedagem, e deste universo, 18 mil são hotéis e pousadas. No geral, 70% são empreendimentos de pequeno porte e poucos estão certificados corretamente, mas, existe a possibilidade de se alcançar, através da sustentabilidade, um novo patamar no credenciamento (classificação através de estrelas) do estabelecimento hoteleiro.

As entidades que avaliam e pontuam (classificam) os estabelecimentos de hotelaria (no Brasil) são: a EMBRATUR [3] – Instituto Brasileiro do Turismo e a ABIH - Associação Brasileira da Indústria de Hotéis. Além destas entidades, existem programas relativos à sustentabilidade de Pousadas, SPAs e hotéis, como o PCTS (Programa de Certificação de Turismo Sustentável) e o *Programa Bem Receber,* que implementam um *Sistema de Gestão Sustentável*, na obtenção de certificação.

1.1 A Sustentabilidade nos estabelecimentos de Hotelaria

As práticas de Sustentabilidade Ambiental e o bem-estar dos hóspedes dirigem as novas tendências como: o ecoturismo e o turismo de aventura, ambos possuindo a preocupação com preservação do meio ambiente e o apoio ao desenvolvimento econômico sustentável das populações tradicionais, tendo o objetivo de conscientizar o turista que além das fotos e lembranças agradáveis das paisagens e das pessoas, a idéia de preservar o meio ambiente e as culturas regionais é uma necessidade, tanto para os que vivem nos locais remotos, como nas grandes cidades.

Neste quesito, a norma NBR 15.401- Meios de Hospedagem [4] oferece diretrizes, que podem gerar economia de energia elétrica e água, através do uso de torneiras e luzes temporizadas, paredes anti-ruídos, sistema de cartões de acesso/entrada dotados de mensagens ecológicas, uso de ar-condicionado *split*, (menos poluente e mais econômico), além da presença de luz natural, em diversos ambientes, para diminuir o consumo de eletricidade, o que torna o estabelecimento hoteleiro sustentável.

1.2 A classificação dos hotéis numa perspectiva ambiental

Ao considerar a questão ambiental, haverá, também, uma valorização dos estabelecimentos que tenham cumprido todas as etapas da Gestão da Qualidade Ambiental, descritas pelas Normas da série - ISO 14.000 [5].

Embora não exista a exigência de que para se habilitar à classificação - um determinado empreendimento tenha que ter a certificação ISO 14000, a existência do SGA (Sistema de Gestão Ambiental), pode possibilitar a inter-relação entre os vários sistemas de classificação, hoje existentes nos meios de hospedagem, como os descritos nas Normas NBR ISO 14010 e NBR ISO 14011 [1],

e permitir realizar as matrizes do perfil ambiental do hotel e de significância nos impactos ambientais, oriundos das suas atividades.

Assim, no início do processo de classificação do hotel, é necessário fazer uma análise crítica da documentação do estabelecimento, abrangendo:

a) EIA/RIMA (se o estabelecimento estiver enquadrado nesta exigência legal);

b) Licenças: LAI – Licença Ambiental de Instalação, LAO – Licença Ambiental de Operação;

c) Passivo ambiental – Planos e projetos de obras e ações mitigadoras dos impactos ambientais decorrentes da construção e/ou operação do hotel;

d) Normas e Resoluções e Portarias do IBAMA e EMBRATUR aplicáveis ao caso;

e) Alvarás – Prefeitura, Vigilância Sanitária, Corpo de Bombeiros, etc.;

f) Registros – Produção de resíduos sólidos, produção de efluentes líquidos, consumo de energia, água, e substâncias potencialmente poluidoras (aerosóis, detergentes, cloro, ácidos, álcalis, venenos, etc.);

g) Planilhas de monitoramento dos efluentes líquidos;

h) Manuais operacionais;

i) Política ambiental da empresa.

1.3 Perfil ambiental do estabelecimento hoteleiro

Neste aspecto, o perfil do hotel pode ser levantado aplicando-se à gerência e administração um questionário que englobe os principais requisitos para uma gestão da qualidade ambiental. Para saber as condições ambientais atuais do estabelecimento hoteleiro – condição fundamental para esta proposta de classificação - é necessário conhecer os condicionantes ambientais, como a política do meio ambiente do estabelecimento, para tanto, há de se preencher os requisitos da planilha do *Perfil Ambiental* do hotel, que recebem valores de 1 à 5, para os tipos de situação considerados ótimos ou ruins [5].

Ao final da enquete junto à administração do hotel, analisando-se os resultados e a pontuação obtida, tem-se o "Perfil Ambiental da Empresa" que será usado na análise do quadro geral para a sua futura classificação.

2 Ações Ambientais

A nova *Matriz de Classificação ABIH* [2] e *EMBRATUR* [3], pontua favoravelmente os estabelecimentos de classificação simples, até os super luxo que

mantenham um monitoramento específico sobre o consumo de energia elétrica e de água (com critérios especiais e privilegiados para aquisição de produtos e equipamentos que diminuam o consumo), e possuam um programa interno de treinamento de funcionários para a redução e separação de resíduos sólidos, mantendo um local adequado para armazenamento destes, dntre os itens a serem considerados, pode-se citar:

2.1 O uso racional da água quente/fria em hotelaria

Existem estratégias que visam diminuir o consumo de água buscando alterar o mínimo possível os hábitos de seus usuários e entre elas podemos encontrar o aproveitamento de água pluvial, reciclagem da água menos suja, o uso das águas subterrâneas, utilização de equipamentos que diminuem o consumo (de arejadores e pulverizadores de vazão constante, torneiras de acionamento hidromecânico, mictórios de acionamento de descarga automática, vasos sanitários com caixa acoplada, etc) e o aquecimento da água por sistema híbrido solar-gás.

2.2 O uso racional da energia elétrica em estabelecimentos de hotelaria

As medidas adotadas para economizar energia, além de permitir ganhos ambientais possibilitam uma economia de custos para o estabelecimento. As recomendações são de adotar procedimentos como:

a) a utilização de lâmpadas eletrônicas nos ambientes internos;

b) iluminação por *leds* na área externa, sensores de presença nas luminárias de passagens;

c) aquecimento da água através de energia solar, somente utilizando o aquecimento a gás em dias nublados, além da utilização de aparelhos elétricos com selo oficial do programa Procel /Brasil, (otimização de consumo energético) como: ar condicionado do tipo: *split* e frigobares.

2.3 Coleta dos resíduos sólidos nos Meios de Hospedagem

Existem basicamente dois tipos de resíduos gerados dentro de um estabelecimento hoteleiro: resíduo orgânico e resíduo inorgânico. O resíduo orgânico são os restos de alimentos e o resíduo inorgânico, também chamado lixo seco ou reciclável são os materiais como papel, plástico, metal e vidro. Com relação ao lixo orgânico, existe uma variação maior quanto ao tratamento e destino dados, se comparado ao lixo reciclável.

Existem usuários que enterram o lixo orgânico em sua propriedade ou em outras áreas, outra alternativa é o sistema de compostagem para o reaproveitamento do resíduo orgânico. Existem estabelecimentos desenvolvem um sistema de compostagem, com minhocário, onde é decomposta toda a matéria orgânica do hotel ou pousada, sendo utilizada no jardim ou horta. Outra forma de aproveitamento é alimentar animais como cachorros, gatos e galinhas, com as sobras de alimentos.

O resíduo inorgânico deveria ser levado para unidades de triagem, que separam o lixo que vem dos vários estabelecimentos para comercializar, ou doar a cooperativas que trabalhem com estes materiais.

2.4 Ações na natureza e o impacto do entorno

Como nas ações da natureza é necessário fazer a preservação de árvores nativas, recomenda-se o cultivo de plantas carnosas para as lagartas, floríferas para as borboletas e plantio de árvores frutíferas para pássaros, em geral.

No aspecto de impacto do entorno, vem sendo utilizado no Brasil um conjunto de ações baseadas nos estudos dos programas: *HQE (Haute Qualité Environnemental* – abordagem francesa oicial que traduz a aplicação dos conceitos do desenvolvimento sustentável às edificações [6] e LEED (*Leadershp in Energy and Environmental Design*), *Green Building Rating System*™, na busca das ações na harmoniosas, entre a natureza, e o entorno.

3 Considerações Finais

3.1 O Programa de Certificação em Turismo Sustentável PCTS

O *PCTS* é um programa de abrangência nacional que visa aprimorar a qualidade e a competitividade das micro e pequenas empresas de turismo, com ênfase para os meios de hospedagem. Por meio de assistência técnica e avaliação para certificação, o PCTS apóia os empreendedores no sentido de melhorar o desempenho de suas organizações nas dimensões econômica, ambiental e sociocultural, contribuindo para o desenvolvimento sustentável do país e a melhoria da imagem do Brasil no exterior.

Desenvolvido inicialmente em parceria com o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) e a APEX-Brasil e mais recentemente com o Sebrae e o Ministério do Turismo, o programa envolve a participação de 565 empresas e se encontra em implementação em diversos destinos, integrando-se agora às metas do *Programa Bem Receber* [4].

O *Programa Bem Receber* é um programa que visa elevar a qualidade profissional e a gestão sustentável de 580 meios de hospedagem com até 50 Unidades Habitacionais (UH), distribuídos em pelo menos 30 destinos turísticos, através de ações de qualificação e certificação para profissionais e gestão empresarial, tendo como referências Normas brasileiras. Em 2006, com o apoio adicional do Sebrae e Ministéro do Turismo o escopo do Programa foi ampliado com a inclusão do componente Qualidade Profissional, e assistência técnica para mais 180 meios de hospedagem e a avaliação para certificação (Auditorias) com base na Norma NBR 15.401, para 200 empresas. Com isso, foi criado um novo nome fantasia, para as ações de Gestão Sustentável e de Qualidade Profissional – o "*Programa Bem Receber*", que promove uma premiação ambiental anual, para os estabelecimentos de hotelaria certificados.

Assim, os estabelecimentos que já se adequaram aos "Meios de Hospedagem", e os que estão em fase de projeto, necessitam de uma reflexão, que permita melhorar a reabilitação dos seus espaços arquitetônicos, segundo o *Programa Bem Receber* e o *PCTS*, para que possam atender a *Matriz de Classificação ABIH* e aos preceitos da *Sustentabilidade.*

4 4 Bibliografia

[1] ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – *Normas NBR ISO 14001/14004* de nov. 1996 e NBR ISO 14010/14011/14012 de nov. 1996

[2] ABIH – Associação Brasileira da Indústria de Hotéis e Normas Técnicas – *Manual de classificação.* 10/6/2003. Manual do sítio `http://www.abih.com.br/principal /downloads/manual_classifica.pdf` - acessado em 30 de agosto de 2008.

[3] EMBRATUR. *A indústria do Turismo no Brasil: Perfil e Tendências* Embratur, São Paulo 1996 e EMBRATUR. Deliberação Normativa N°367 de 26 de nov. de 1996 e anexos – Diário Oficial da União n° 367 de 26 de nov. de 1996 – Seção I.

[4] Carvalho, V. F. *Brasil é pioneiro na publicação de norma sobre sustentabilidade no turismo.*Dezembro 2006. Artigo do sítio: `http://www.ecoviagem.com.br/fique-por-dentro/noticias/turismo/brasil-e-pioneiro-na-publicacao-de-norma-sobre-sustentabilidade-no-turismo-6360.asp`. Acessado em outubro de 2008.

[5] Ferreira, J. Luis, *A variável ambiental como componente na classificação da qualidade dos serviços de hotelaria, artigo* CPGEP/CTC/UFS da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC -1999

[6] Zambrano, Letícia. *Integração dos Princípios da Sustentabilidade ao Projeto de Arquitetura,* Tese de Doutorado – PROARQ - UFRJ, 2008.

MÉTODO DE AVALIAÇÃO DAS NECESSIDADES DE REABILITAÇÃO

Desenvolvimento e metodologia de aplicação

António Vilhena[*]
avilhena@lnec.pt

João Branco Pedro[†]
jpedro@lnec.pt

José Vasconcelos de Paiva[‡]
jvpaiva@lnec.pt

António Baptista Coelho[§]
abc@lnec.pt

João Bento[**]
jmfbento@lnec.pt

Resumo

O Método de Avaliação das Necessidade de Reabilitação (MANR) estabelece um conjunto de procedimentos que permite determinar as necessidades de reabilitação de um edifício de modo a dotá-lo de características que assegurem a satisfação das exigências funcionais num nível não inferior ao estabelecido na legislação aplicável ou convencionado pelas regras da boa prática. A satisfação das exigências funcionais pode estar comprometida por anomalias construtivas e/ou espaciais. Da aplicação do método resulta informação que permite avaliar a viabilidade de cada edifício.

O MANR foi desenvolvido no Laboratório Nacional de Engenharia Civil no âmbito da iniciativa "Bairros Críticos".

Nesta comunicação apresentam-se o modelo de avaliação, os critérios de avaliação, a fórmula de cálculo e os instrumentos de aplicação do MANR.

Palavras-chave: Edifícios, Avaliação, Estado de conservação, Habitabilidade, Anomalias.

1 Introdução

A gestão de um parque habitacional e a definição de políticas de reabilitação devem assentar num conhecimento profundo do estado de conservação do edificado. Com base nesta informação é possível definir prioridades e graus de

[*] Assistente de Investigação do LNEC.
[†] Inv. Auxiliar do LNEC, Pós-doutorando da Delft University of Technology.
[‡] Inv. Coordenador do LNEC, Director do Departamento de Edifícios.
[§] Inv. Principal com Habilitação do LNEC, Chefe do Núcleo de Arquitectura e Urbanismo.
[**] Bolseiro de Investigação.

intervenção que permitam, de uma forma faseada, reabilitar os edifícios e satisfazer as exigências funcionais.

No âmbito da iniciativa *Bairros Críticos*, um projecto governamental de qualificação e reinserção urbana de bairros problemáticos, o Instituto da Habitação e da Reabilitação Urbana (IHRU) solicitou, no início de 2007, a colaboração do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) na análise das condições de habitabilidade do edificado do Bairro do Alto da Cova da Moura, tendo em vista a sua futura reabilitação. No âmbito da resposta a esta solicitação foi desenvolvido no LNEC o *Método de Avaliação das Necessidades de Reabilitação* do edificado (MANR) [1].

2 Método

O MANR estabelece um conjunto de procedimentos para determinar as necessidades de reabilitação de um edifício. Considera-se que é necessário realizar uma intervenção de reabilitação sempre que as características do edifício não assegurem a satisfação das exigências funcionais num nível igual ou superior ao estabelecido na legislação aplicável ou convencionado pelas regras da boa prática.

A satisfação das exigências funcionais pode estar comprometida por anomalias construtivas e/ou espaciais: As anomalias construtivas podem resultar de inadequação da solução construtiva inicial, deficiente execução dos trabalhos de construção, e/ou degradação dos elementos construtivos. As anomalias espaciais podem resultar de inadequação da solução espacial inicial, ou de alteração das condições espaciais.

No MANR cada edifício é avaliado isoladamente e na sua inserção urbanística. A avaliação isolada do edifício inclui as anomalias construtivas e espaciais. Nas anomalias construtivas dos edifícios são considerados separadamente os elementos funcionais que constituem o conjunto *"Estrutura, Cobertura e Elementos salientes"*, as *"Outras partes comuns"*, e as *"Unidades* (tantas quantas existam no edifício). Nas anomalias espaciais são considerados *"Espaços comuns"* e os *"Compartimentos da unidade"*. A avaliação da inserção urbanística inclui apenas a relação do lote com os lotes vizinhos.

3 Critérios de avaliação

3.1 Avaliação do edifício

Na avaliação do edifício, considerado isoladamente, são apreciadas as anomalias construtivas e espaciais. O resultado é expresso pelo *nível de reabilitação*, que traduz a relação entre o volume de obras de reabilitação necessárias para corrigir as anomalias e o volume de obras de construção de um edifício novo com capacidade de uso idêntica.

Na apreciação dos aspectos construtivos, a avaliação de cada elemento funcional é dividida em três factores, verificados sequencialmente: *gravidade* das anomalias, e *extensão* e *complexidade* da intervenção. Para cada elemento funcional existente no edifício ou na unidade começa por ser classificada a *gravidade* da anomalia (Quadro 1). Se a gravidade da anomalia for *ligeira*, *média* ou *grave*, é indicada a *extensão* (Quadro 2) e a *complexidade* (Quadro 3) da intervenção necessária para a reparar.

Quadro 1: Critério de avaliação da gravidade das anomalias dos elementos funcionais.

Anomalias sem significado	**Anomalias ligeiras**	**Anomalias médias**	**Anomalias graves**
Ausência de anomalias ou anomalias sem significado	Anomalias que prejudicam o ***aspecto***	Anomalias que prejudicam o ***uso*** e/ou o ***conforto***	Anomalias que colocam em risco a ***saúde*** e/ou a ***segurança***

Quadro 2: Critério de avaliação da extensão da intervenção de reabilitação.

Localizada	**Média**	**Extensa**	**Total**
Anomalias que afectam pontualmente o elemento funcional, sendo a sua extensão não superior a 25%	Anomalias que afectam áreas limitadas do elemento funcional, estando a sua extensão compreendida entre 26% e 50%	Anomalias que afectam grandes áreas do elemento funcional, estando a sua extensão compreendida entre 51% e 75%	Anomalias que afectam a totalidade ou a quase totalidade do elemento funcional, sendo a sua extensão superior a 75%

Quadro 3: Critérios de avaliação da complexidade da intervenção de reabilitação.

Simples	**Média**	**Difícil**
Trabalhos realizados numa única operação e com a intervenção de apenas uma especialidade Trabalhos de limpeza, pintura ou reabilitação superficial dos elementos construtivos Trabalhos em que seja necessária a demolição ou remoção do elemento funcional, sem a sua posterior reconstrução	Trabalhos realizados em várias operações e que carecem da intervenção de várias especialidades Trabalhos que obrigam à demolição ou remoção de revestimentos para proceder à intervenção e sua posterior reconstrução	Trabalhos de reabilitação ou reforço tecnicamente complexos, requerendo a aplicação de procedimentos, materiais e/ou tecnologias não correntes Trabalhos de construção de um elemento funcional necessário à satisfação das exigências funcionais Trabalhos em que o estado do elemento funcional justifica a demolição ou remoção, e a sua posterior reconstrução
Estes trabalhos têm custos muito inferiores aos da construção nova do elemento funcional	Estes trabalhos têm custos inferiores aos da construção nova do elemento funcional	Estes trabalhos têm custos semelhantes ou superiores aos da construção nova do elemento funcional

A apreciação dos aspectos espaciais está dividida em dois factores: *gravidade* da anomalia e *viabilidade* da intervenção. A gravidade da anomalia é ava-

liada numa escala igual à utilizada para os elementos funcionais, mas segundo critérios diferentes (Quadro 4).

Quadro 4: Critério de avaliação da gravidade das anomalias dos espaços.

Anomalias sem significado	Anomalias ligeiras	Anomalias médias	Anomalias graves
Está satisfeito o disposto na regulamentação geral em vigor	Não está satisfeito o disposto na regulamentação geral em vigor [2, 3, 4, 5]	Não está satisfeito o disposto na regulamentação específica para edifícios clandestinos susceptíveis de eventual reabilitação [6]	Não está satisfeito um nível mínimo absoluto, ficando severamente comprometidas as condições de saúde e de segurança das pessoas

Se a gravidade das anomalias nos espaços for *média* ou *grave* devem ser indicadas as intervenções, nos diversos elementos funcionais, necessárias para reparar essas anomalias. As intervenções de resolução de anomalias espaciais são supletivas às de reparação das anomalias construtivas. A viabilidade de realização das intervenções é analisada considerando as seguintes situações, da mais fácil para a mais difícil: no edifício, no logradouro do lote, na via pública, no logradouro de lotes adjacentes, à custa de edifícios de lotes adjacentes.

3.2 Avaliação da inserção urbanística do edifício

Na avaliação da inserção urbana do edifício são apenas avaliadas anomalias que dificilmente podem ser verificados por recurso à cartografia, designadamente: existência de partes de edifícios vizinhos sobre ou sob o edifício em avaliação; distância insuficiente entre vãos do edifício em avaliação e vãos de edifícios vizinhos situados em fachadas adjacentes ou confrontantes; distância insuficiente entre cobertura sem resistência ao fogo do edifício em avaliação e vãos de edifícios vizinhos; existência de vãos do edifício em avaliação sobre o limite do lote contíguo; distância insuficiente livre de obstáculos em vãos de compartimentos habitáveis. A avaliação de cada um destes aspectos é realizada na escala de 4 níveis adoptada para a gravidade de anomalia. O resultado do *Nível de anomalia das relações entre edifícios* para cada lote é expresso pelo nível de anomalia mais grave obtido.

4 Fórmula de cálculo

O nível de reabilitação é determinado de acordo com o procedimento descrito em seguida.

— Para cada elemento funcional a extensão e a complexidade da intervenção a realizar, devido a anomalias construtivas e espaciais, são convertidas em valores (Quadro 5).

Quadro 5: Índices de conversão da extensão e da complexidade da intervenção.

Extensão da intervenção (Ei)	Localizada 0,25	Média 0,50	Extensa 0,75	Total 1,00
Complexidade da intervenção (Ci)	Simples 0,4	Média 0,8	Difícil 1,2	

— Para cada elemento funcional calculam-se, separadamente, os índices de necessidade de reabilitação por anomalias construtivas (Ic) e espaciais (If), pelo produto das respectivas extensões (Ei) e complexidade (Ci) de intervenção.

— A pontuação (Pt) de cada elemento funcional é determinada pelo produto entre a ponderação (Pd) atribuída a cada elemento funcional e a soma dos índices de reabilitação motivados por anomalias construtivas (Ic) e anomalias espaciais (If). A soma dos índices de reabilitação (Ic+If) tem como valor máximo 1,2. As ponderações foram definidas utilizando como referência a estrutura de custos de construção de edifícios unifamiliares e multifamiliares de habitação novos, com cerca de três pisos e estrutura reticulada de betão armado.

— O somatório das ponderações (ΣPd) resulta da soma de todas as ponderações dos elementos funcionais existentes. O somatório das pontuações (ΣPt) resulta da soma das pontuações (Pt) obtidas pelos diversos elementos funcionais. O índice de necessidade de reabilitação (Inr) é obtido pelo quociente entre o somatório das pontuações (ΣPt) e o somatório das ponderações (ΣPd) a multiplicar por 100.

São calculados separadamente índice de necessidade de reabilitação parciais para: conjunto *Estrutura, Cobertura e Elementos salientes*; *Outras partes comuns*; e cada *Unidade*. Para determinar o índice de necessidade de reabilitação do edifício (Inr) considera-se que o índice do conjunto *Estrutura, Cobertura e Elementos salientes* representa 30% e os restantes índices representam 70%. Os índices das *Outras partes comuns* e de cada *Unidade* são ponderados pela respectiva área bruta.

O nível de necessidade é determinado classificando o índice Inr do edifício segundo a escala apresentada no Quadro 6.

Quadro 6: Escala de intervalos para determinar o nível de necessidade de reabilitação.

Índice	$0 \geq Inr \geq 33$	$33 > Inr \geq 66$	$66 > Inr \geq 120$
Nível	Reabilitação ligeira	Reabilitação média	Reabilit. profunda

5 Instrumentos de aplicação

Para implementar o MANR foram desenvolvidos três instrumentos:

— *Ficha de avaliação das necessidades de reabilitação,* para registo da informação recolhida durante as vistorias;

— *Instruções de aplicação,* que estabelecem procedimentos e critérios a cumprir durante as vistorias e no preenchimento da ficha de avaliação;

— *Folha de cálculo,* onde são inseridos os dados recolhidos e efectuado o cálculo do resultado final.

6 Agradecimentos

Na discussão e aplicação experimental do MANR participaram numerosos colegas do LNEC e do IHRU a quem os autores agradecem reconhecidos.

7 Referências

[1] Pedro, J. Branco et al. *Colaboração do LNEC na análise das condições de habitabilidade do edificado no Bairro do Alto da Cova da Moura. Método de avaliação das necessidades de reabilitação. Concepção, aplicação experimental e formação de técnicos avaliadores.* Lisboa : LNEC, 2008. Relatório Confidencial n.º 267/2008 – DED/NAU.

[2] *Decreto-Lei n.º 38 382.* Diário da República (1951-08-07). [Regulamento geral das edificações urbanas].

[3] *Decreto-Lei n.º 64/90.* Diário da República: Série I. N.º 44/90, (1990-02-21) p. 722-738. [Regulamento de segurança contra incêndio em edifícios de habitação].

[4] *Decreto-Lei n.º 368/99.* Diário da República: Série I-A. N.º 219/99, (1999-09-18) p. 6470-6480. [Medidas de segurança contra riscos de incêndio a aplicar em estabelecimentos comerciais].

[5] *Portaria n.º 1063/97.* Diário da República: Série I-B. N.º 244/97, (1997-10-21) p. 5689-5694. [Medidas de segurança contra riscos de incêndio aplicáveis na construção, instalação e funcionamento dos empreendimentos turísticos e dos estabelecimentos de restauração e de bebidas].

[6] *Portaria n.º 243/84.* Diário da República: Série I. N.º 91/84, (1984-04-17) p. 1260. [Condições mínimas de habitabilidade exigíveis em edifícios clandestinos susceptíveis de eventual reabilitação].

PARÂMETROS EM SERVIÇO MEDIDOS EM AMOSTRAS RECOLHIDAS IN-SITU

Massa volúmica e porosidade aparentes

Inês Flores-Colen[*]
ines@florescolen.com

Luís Silva[†]
luis.silva@weber-cimenfix.com

Jorge de Brito[‡]
jb@civil.ist.utl.pt

Vasco Peixoto de Freitas[§]
vpfreita@fe.up.pt

Resumo

A avaliação do desempenho em serviço de rebocos exteriores pode ser significativamente melhorada pela realização de ensaios *in-situ* e de ensaios em laboratório. Estes últimos são objecto de análise nesta comunicação.

Os ensaios em laboratório em amostras recolhidas *in-situ* permitem a análise de características de desempenho relevantes para o comportamento dos rebocos. A realização destes ensaios é importante quando não existem métodos expeditos de avaliação *in-situ* ou como análise complementar de diagnóstico. Apesar dos usuais condicionalismos referentes a ensaios em laboratório (maior consumo de tempo na análise, custos acrescidos e maior grau de destruição dos paramentos), a utilização de pequenas amostras e a informação adicional obtida em termos de desempenho justificam a realização deste tipo de ensaios.

Nesta comunicação, são abordados dois parâmetros de medição relevantes para o comportamento físico-mecânico dos rebocos exteriores, nomeadamente: massa volúmica aparente e porosidade aparente ou aberta. Para cada parâmetro, são discutidos: o procedimento de ensaio (preparação da amostra e técnicas utilizadas) e a sua relação com as características de desempenho e com eventuais anomalias existentes. A análise dos resultados inclui 7 casos de estudo, no total de 15 paramentos, revestidos a rebocos tradicionais (cimentícios e bastardos) e a não-tradicionais ou pré-doseados.

Palavras-chave: Amostras, *In-situ*, Porosidade, Massa volúmica, Desempenho.

1 Introdução

A recolha de amostras deve ser utilizada como meio complementar à inter-

[*] Assistente do DECivil, Instituto Superior Técnico (IST), Lisboa.
[†] Químico Industrial, Saint-Gobain Weber Cimenfix, Aveiro.
[‡] Professor Catedrático, DECivil, IST, Lisboa.
[§] Professor Catedrático, LFC, DEC, FEUP, Porto.

pretação dos meios menos intrusivos, tais como a inspecção visual e os ensaios *in-situ*. A escolha dos ensaios a realizar nas amostras recolhidas e o número de amostras dependem do tipo de análise e dos recursos técnicos e económicos necessários. No caso dos edifícios mais recentes, este tipo de análise não tem sido prática corrente basicamente pelo efeito destrutivo em paramentos, custos e tempo consumido nos ensaios. No caso dos rebocos pré-doseados monocamada coloridos (tipo "monomassas"), a reparação posterior dos locais intervencionados afecta quase sempre a aparência da superfície rebocada.

Por estas razões, mesmo que sejam recolhidas amostras é difícil garantir uma representatividade que normalmente envolve a recolha de um número significativo de amostras. Neste contexto, é o cruzamento entre a inspecção visual e as técnicas de ensaio *in-situ* que permite uma melhor escolha da localização, do número e da dimensão das amostras a recolher [1].

A medição de determinados parâmetros em serviço em pequenas amostras recolhidas durante as inspecções, pode fornecer informação relevante numa metodologia de avaliação do desempenho de fachadas rebocadas, em particular quando não existem técnicas de ensaio *in-situ* para a análise de determinados parâmetros em serviço (como acontece com os dois parâmetros em estudo).

2 Parâmetros de medição em serviço e procedimento de ensaio

No âmbito da tese de doutoramento da primeira autora, foram analisados vários parâmetros de observação e medição, relevantes para o desempenho físico em serviço de fachadas revestidas a argamassas de base cimentícia [2]. Nesta comunicação, discute-se apenas dois desses parâmetros.

A massa volúmica aparente foi determinada por dois métodos: princípio geométrico e pressão hidrostática. No primeiro, a massa volúmica aparente (M_{ap}^{PG}) é determinada pelo quociente entre a massa da amostra e o seu volume determinado geometricamente [3] (medido por exemplo por um paquímetro, conforme Figura 1). No segundo, recorre-se à pesagem hidrostática de amostras saturadas [4], e à Equação 1 para determinação da massa volúmica aparente (M_{ap}^{PA}). Este último método é também utilizado para determinar a porosidade aberta ou aparente de amostras, recorrendo à Equação 2.

$$M_{ap}^{PA}(kg/m^3) = \frac{M_1}{M_3 - M_2} * 10^3 \quad (1)$$

$$P_{ap}(\%) = \frac{M_3 - M_1}{M_3 - M_2} * 100 \quad (2)$$

em que:

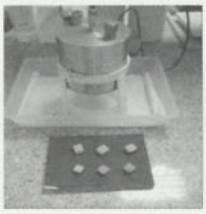
M_1 — massa seca de cada provete (g);

M_2 — massa do provete em imersão (g);

M_3 — massa do provete saturado (g), valor máximo atingido até massa constante.



Medição das dimensões da amostra com paquímetro



Bomba de pressão utilizada no processo de saturação



Pesagem hidrostática de cada amostra

Figura 1: Exemplificação das técnicas utilizadas para determinação da massa volúmica e porosidade aparentes.

O método de pesagem hidrostático é mais adequado para amostras de todas as dimensões e é o único adequado para amostras de forma irregular [5]. Ainda para este último método, existem vários procedimentos, variando essencialmente no modo de saturação das amostras (imersão com depressão de ar ou sobre pressão), nas pressões utilizadas e na duração do ensaio. Neste estudo, os provetes cúbicos são colocados numa estufa ventilada a uma temperatura aproximada de 70 °C ± 5 °C até atingirem massa constante, registando-se a massa seca de cada provete (avaliada por uma balança com precisão de 0.001 g). Posteriormente, os mesmos provetes são submetidos a uma pressão constante de 88 cm de coluna de água (8.92 kPa), através de uma bomba de pressão (Figura 1), até à sua saturação durante, pelo menos 7 dias para garantir que a água penetre nos poros mesmo os que estão inicialmente obstruídos [6].

Por último, salienta-se que a determinação da porosidade aparente pelas técnicas de intrusão mencionadas acima, permite a indicação do volume de vazios que comunicam entre si (poros abertos) no interior da argamassa, mas não fornece informação sobre porometria (dimensão e forma dos poros) [7-9].

3 Parâmetros de referência

Numa fase inicial do estudo, foi efectuada uma campanha experimental em laboratório para estudar a relação destes parâmetros com as características de desempenho em serviço de argamassas e ainda estabelecer parâmetros de referência. Do estudo efectuado [2], conclui-se que é possível estabelecer uma relação entre a massa volúmica aparente e a porosidade aparente para os produtos monomassas e para todos os produtos (pré-doseados e doseados em obra), conforme Figura 2. Por outras palavras, existe uma relação entre a com-

pacidade da argamassa e o volume de vazios incorporado pelos aditivos e pela quantidade de água de amassadura perdida por evaporação [10].

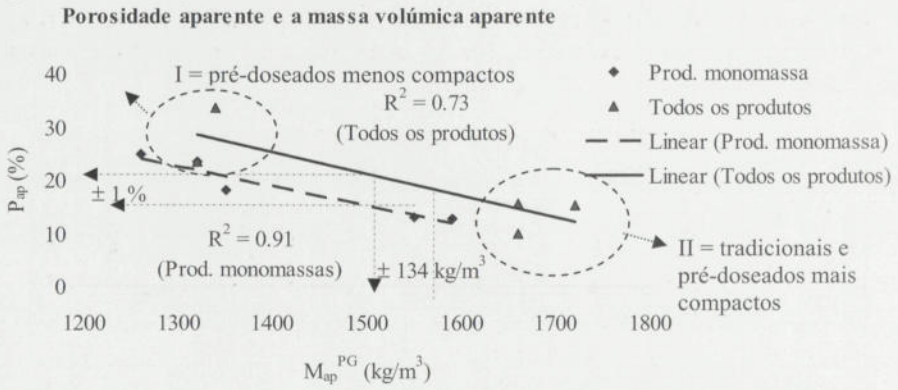


Figura 2: Relação entre a porosidade aparente (P_{ap}) e a massa volúmica aparente (M_{ap}^{PG}) obtida através de campanha experimental em provetes normalizados e amostras após ensaios *pull-off* em modelos de tijolo + argamassa de base cimentícia.

Assim, identificam-se dois grupos de argamassas: I = grupo que inclui a maioria dos pré-doseados (materiais menos compactos e com maior porosidade), e II = grupo que inclui todos os tradicionais de base cimentícia (com um ou mais ligantes) e alguns pré-doseados (mais compactos, normalmente os que se destinam a servir de suporte a acabamento final cerâmico). A campanha efectuada permitiu estabelecer limites de referência entre estes dois grupos, em vez de valores mínimos ou máximos, aferidos após a comparação com o estudo de outros investigadores: $M_{ap} = 1550 \pm 150$ kg/m^3; $P_{ap} = 22 \pm 2$ %.

Na mesma campanha, foi ainda possível estabelecer relações ($R^2 > 0.6$) entre estes parâmetros e a resistência à compressão; factor de ductilidade (razão entre a resistência à tracção por flexão e resistência à compressão); módulo de elasticidade dinâmico e coeficiente de resistência à difusão do vapor de água.

4 Resultados obtidos em vários casos de estudo

As amostras ensaiadas em laboratório foram recolhidas em 15 paramentos rebocados, referentes a 7 casos de estudo. Os rebocos analisados incluem: produtos pré-doseados do tipo monomassa (PM), nos casos de estudo 1, 3 e 6; produtos tradicionais cimentícios (TC), nos casos de estudo 2, 4 e 7; tradicionais bastardos (TB), com cimento e cal hidráulica (C+CH) ou com cal aérea (C+CA) no caso 2, e pré-doseado mais compacto (PP) no caso de estudo 5.

A idade dos paramentos rebocados é diversificada, variando de 1 a 40 anos, assim como as anomalias: microfissuração (EC01); pequena fissuração e pulverulência superficial ou média no EC02; pulverulência elevada no EC03;

manchas e alguma fissuração no EC04; sem anomalias no EC05; sem informação no EC06; e entrada de água no EC07. Os resultados obtidos médios para a análise de 2 a 4 amostras em cada caso de estudo, encontram-se sintetizados nas Figuras 3 e 4. Os coeficientes de variação máximos obtidos foram: 33% para M_{ap}^{PG}; 7% para M_{ap}^{PA}; e 25% para P_{ap}.

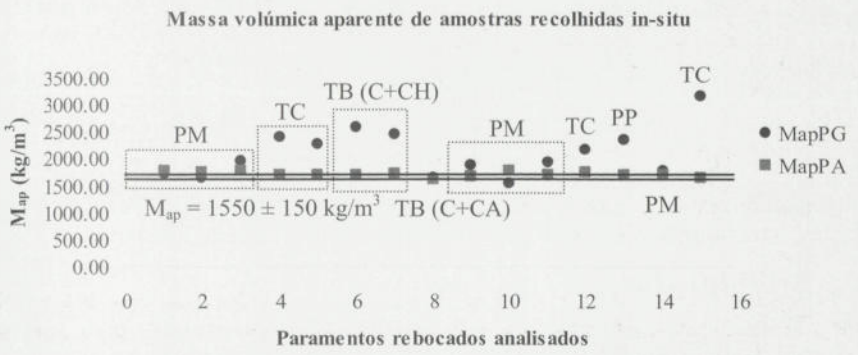


Figura 3: Síntese dos resultados de massa volúmica aparente obtidos com amostras recolhidas em campo, através do princípio geométrico (M_{ap}^{PG}) e do método de pressão hidrostática (M_{ap}^{PA}), para 7 casos de estudo (15 paramentos rebocados).

5 Discussão dos resultados e conclusões

Dos dois parâmetros analisados, conclui-se que a porosidade aparente de amostras permite identificar o tipo de reboco aplicado, já que foi possível distinguir os produtos pré-doseados (mais porosos) dos tradicionais de base maioritariamente cimentícia. No entanto, não foi possível estabelecer uma relação da variação deste parâmetro com a existência de anomalias nos casos de estudo. Assim, com estes resultados, pode concluir-se, numa primeira análise, que o desempenho físico-mecânico dos 15 tipos de rebocos é cumprido, embora esta afirmação deva ser confirmada com a análise de mais parâmetros em serviço.

Em relação ao parâmetro da massa volúmica aparente, verifica-se que existem grandes diferenças nos resultados dos dois métodos utilizados (princípio geométrico e pesagem hidrostática). Verifica-se que o primeiro conduz a valores mais grosseiros da massa volúmica aparente e excessivamente elevados em alguns casos (acima dos 2000 kg/m^3), comprovando a sua inadequação para uma avaliação em serviço. Outro aspecto a referir são os valores mais elevados obtidos neste parâmetro para todos os produtos pré-doseados, ao contrário do que seria expectável, conforme campanha inicial em laboratório. Esta situação pode estar relacionada com a grande sensibilidade que estes produtos têm ao processo de preparação e de aplicação (água de amassadura, tempo e máquina de amassadura e tempo de repouso) [11].

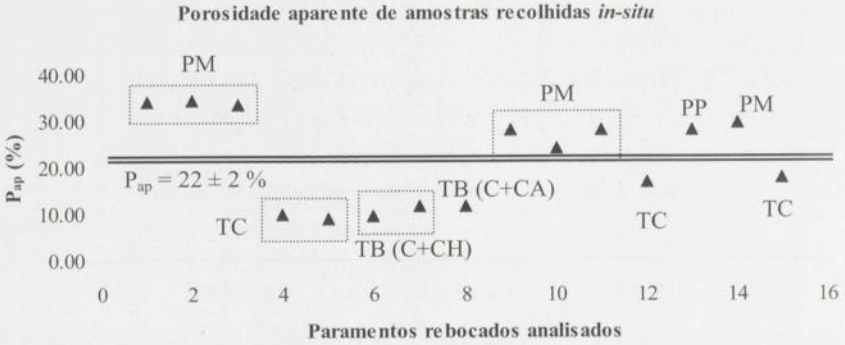


Figura 4: Síntese dos resultados de porosidade aparente (Pap), obtidos com amostras recolhidas em campo, através do método de pressão hidrostática.

6 Bibliografia

[1] Hughes, J. & Callebaut, K. In-situ visual analysis and practical sampling of historic mortars. *Materials and Structures.*35 (2). 2002. pp. 1871-6873.

[2] Flores-Colen, I. *Metodologia de avaliação do desempenho em serviço de fachadas rebocadas na óptica da manutenção predictiva.* Tese de Doutoramento, Instituto Superior Técnico. Lisboa. 2009.

[3] CSTB. *Certification CSTB des enduits monocouche d'imperméabilisation. Modalités d'essais.* Cahier 2669-4. Paris: Centre Scientifique et Technique du Bâtiment. 1993.

[4] CEN. *Methods of test for mortar for masonry - Part 10: Determination of dry bulk density of hardened mortar.* Brussels: European Committee for Standardization. 1999.

[5] IPQ *Ensaios do betão endurecido. Parte 7: Massa volúmica do betão endurecido.* Lisboa: Instituto Português de Qualidade. 2003.

[6] Fernandes, V., et al. Influence of the kneading water content in the behaviour of single-coat mortars. *Cement and Concrete Research.* 35. 2005. pp: 1900-1908.

[7] Freitas, V. & Pinto, P. *Permeabilidade ao Vapor de Materiais de Construção - Condensações Internas.* NIT 002 - LFC 1998. Laboratório de Física das Construções. Porto. 1998.

[8] Thomson, M *et al. Porosity of historic mortars*, 13th International Brick and Block Masonry Conference. Amsterdam, Julho 2004. CD.

[9] Flores-Colen et al.. *Condition assessment of façade rendering through in-situ testing*, 11DBMC International Conference on Durability of Building Materials and Components, Istambul, Maio 2008, CD.

[10] Nakakura, E. & Cincotto, M. A. *Análise dos requisitos de classificação de argamassas de assentamento e revestimento.* Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. BT/PCC/359. São Paulo. 2004.

[11] Silva, L. *et al. Influência de parâmetros associados à mistura e aplicação de um revestimento monocamada, com introdutor de ar, sobre as propriedades da argamassa em pasta e endurecida.* 2nd International Symposium on Building Pathology, LNEC/CIB W86/GEcORPA: Lisboa.2003. pp. 547-556.

MÉTODO DE AVALIAÇÃO DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO DE IMÓVEIS

Análise de Dois Anos de Aplicação

João Branco Pedro [*]
jpedro@lnec.pt

António Vilhena [†]
avilhena@lnec.pt

José Vasconcelos de Paiva [‡]
jvpaiva@lnec.pt

Resumo

O Regime de Arrendamento Urbano aprovado pela Lei n.º 6/2006, de 27 de Fevereiro, permite a actualização extraordinária do valor das rendas. O valor máximo de actualização depende do valor patrimonial tributário e de um coeficiente de conservação. Este coeficiente deve reflectir o estado de conservação do locado e a existência de infra-estruturas básicas.

Para determinar o coeficiente de conservação foi desenvolvido no LNEC o "Método de avaliação do estado da conservação de imóveis" (MAEC). O método foi publicado pela Portaria n.º 1192-B/2006, de 3 de Novembro, que aprovou o modelo de ficha de avaliação, definiu os critérios de avaliação e estabeleceu as regras necessárias para a determinação do coeficiente de conservação. As instruções relativas ao preenchimento da ficha de avaliação e ao procedimento de vistoria foram remetidas na Portaria para documento disponibilizado na Internet.

Nesta comunicação é analisada a experiência de aplicação dos primeiros dois anos de vigência do MAEC. Apresenta-se uma análise crítica da implementação, identificam-se algumas restrições de aplicação e perspectivam-se possíveis desenvolvimentos futuros.

Palavras-chave: Edifícios, Avaliação, Estado de conservação, Novo Regime do Arrendamento Urbano, Anomalias.

[*] Investigador Auxiliar do LNEC, Pós-doutorando da Delft University of Technology.
[†] Assistente de Investigação do LNEC.
[‡] Investigador Coordenador do LNEC. Director do Departamento de Edifícios.

1 Introdução

Em Portugal existiam, em 2001, aproximadamente 740.000 contratos de arrendamento, sendo 420.000 anteriores a 1990. O valor das rendas nos contratos anteriores a 1990 era em média de 50 euros por mês, enquanto que o mesmo valor para os contratos posteriores a 1990 era de 220 euros [1].

O baixo valor das rendas para os contratos anteriores a 1990, devido a congelamentos do seu valor que se sucederam desde o início do séc. XX, conduziu à proliferação de situações de injustiça em que os inquilinos beneficiam de rendas sem correspondência com o valor de mercado. Esta situação também levou alguns senhorios a não terem meios para realizar a manutenção dos edifícios, a desinteressarem-se da manutenção por não perspectivarem o retorno financeiro do investimento e ao desinteresse de investidores privados no sector de arrendamento.

Como resultado, verificou-se uma progressiva degradação do parque edificado, com consequências para quem nele habita e para a imagem urbana. De acordo com os Censos de 2001, mais de 50% das habitações arrendadas necessitavam de trabalhos de reparação (30% necessitavam de pequenas reparações, 22% necessitavam de reparações médias ou grandes e 4% estavam muito degradadas) enquanto apenas 44% foram consideradas como não necessitando de reparações [2]. As habitações em regime de arrendamento estavam num estado de conservação consideravelmente pior que as ocupadas pelos proprietários.

Em 2006 foi aprovado um *novo Regime de Arrendamento Urbano* [3]. Este novo regime introduziu uma alteração estrutural ao permitir o aumento extraordinário do valor dos contratos de arrendamento anteriores a 1990, nos casos de arrendamentos habitacionais, e anteriores a 1995 no caso dos arrendamentos não-habitacionais.

Para regular o aumento das rendas o novo regime definiu uma fórmula de cálculo para o valor anual máximo da renda: quatro por cento do valor patrimonial tributário do locado multiplicado por um coeficiente de conservação.

O coeficiente de conservação reflecte o estado de conservação do locado e a existência de infra-estruturas básicas numa escala de cinco níveis: excelente – 1,2, bom – 1,0, médio – 0,9, mau– 0,7, péssimo – 0,5. Após a avaliação, o coeficiente de conservação pode ser alterado pelas Comissões Arbitrais Municipais (CAM), com base em alegações das partes interessadas, reduzindo-o se a conservação do locado se dever a obras efectuadas licitamente pelo arrendatário, ou aumentando-o se a degradação do locado se dever a actuação ilícita do arrendatário ou a falta de manutenção por este quando o dever de manutenção lhe assiste.

O Gabinete do Secretário de Estado Adjunto e da Administração Local (GSEAAL), do XVII Governo Constitucional, solicitou ao Laboratório Nacio-

nal de Engenharia Civil (LNEC) que, tendo por base o quadro legal descrito, elaborasse um método de avaliação do estado da conservação de imóveis (MAEC).

Nesta comunicação efectua-se uma análise crítica da implementação do MAEC, apresentam-se algumas restrições de aplicação que o método tem revelado e perspectivam-se desenvolvimentos futuros.

2 Desenvolvimento do MAEC

Com vista a responder à solicitação acima referida, foram realizadas as seguintes actividades, durante o ano de 2006:

- definição dos objectivos que o MAEC devia alcançar;
- análise dos métodos existentes para avaliação do estado da conservação de imóveis e elaboração de uma proposta de método;
- desenvolvimento de instrumentos de aplicação do método, nomeadamente ficha de avaliação e instruções de aplicação;
- discussão da proposta de método com o GSEAAL, e com 15 entidades que intervêm no sector do arrendamento e obtenção de pareceres da Ordem dos Engenheiros e da Ordem dos Arquitectos;
- realização de uma aplicação experimental da proposta de método numa amostra de 64 locados do parque edificado de arrendamento;
- aperfeiçoamento da proposta de método e dos instrumentos desenvolvidos com base nos resultados da discussão e da aplicação experimental.

O MAEC foi publicado pela Portaria 1192-B/2006, de 3 de Novembro [6] e objecto de apresentação pública num encontro nacional [4].

Posteriormente, durante o ano de 2007, o MAEC foi apresentado e discutido publicamente, com engenheiros e arquitectos, em cinco seminários organizados pela Ordem dos Engenheiros e pela Ordem dos Arquitectos em várias cidades do país. Durante aquele ano foi ainda realizada a redacção de novos capítulos das instruções e a ilustração de exemplos de anomalias com fotografias.

3 Avaliação crítica da implementação

A aplicação do MAEC iniciou-se em Novembro de 2006. No final do segundo ano de vigência, mais de 1000 técnicos estavam inscritos nas bolsas municipais, 2400 processos de avaliação estavam concluídos e 5000 estavam a decorrer. O número de reclamações era reduzido.

A aplicação do MAEC tem suscitado diversas questões, principalmente de técnicos e de CAMs, que têm sido respondidas pelo IHRU ou excepcionalmente pelo LNEC. Estas questões eram esperadas atendendo a que o MAEC é um

instrumento novo e que os técnicos o têm aplicado sem participarem em acções de formação específicas. Até ao momento, as questões colocadas ainda não indiciaram a existência de situações imprevistas que motivassem a necessidade de revisão do MAEC. Afigura-se portanto que a aplicação do MAEC tem decorrido de uma forma positiva.

4 Restrições de aplicação

Apesar da avaliação ser positiva que se faz a implementação do MAEC, é importante ter presentes algumas restrições, como seguidamente indicado.

Os resultados da análise são utilizados para a determinação do valor máximo da renda de locados. Assim, a avaliação centra-se no impacte que o estado de conservação do locado tem nas condições de habitabilidade dos arrendatários. Uma vistoria mais detalhada permitiria determinar as causas das anomalias e portanto apoiaria a identificação de obras de reparação. Contudo, exigiria técnicos mais qualificados, poderia obrigar a realizar sondagens e ensaios, e tornaria as vistorias mais demoradas. No seu conjunto estas alterações agravariam os custos, contrariando um dos princípios-base subjacente ao desenvolvimento do método.

A vistoria poderia também proporcionar uma oportunidade para avaliar a qualidade das locados ou verificar a existência de condições de segurança ou saúde segundo as exigências actuais. Porém, recolher informação sobre estes assuntos implicaria vistorias mais longas e dispendiosas, sem vantagens para os objectivos do MAEC.

Os procedimentos e instrumentos estabelecidos visam obter resultados rigorosos, objectivos e transparentes. Contudo, a correcta aplicação do MAEC depende também da competência dos técnicos. Assim, a formação dos avaliadores é especialmente importante para alcançar os objectivos estabelecidos, sendo determinante a realização de acções de formação.

Existem três diferentes níveis de controlo dos resultados do MAEC. Primeiro, as CAM, quando atribuem o coeficiente de conservação, verificam a descrição das anomalias e as fotografias ilustrativas. Quando têm dúvidas sobre o correcto preenchimento da ficha podem analisar, conjuntamente com o técnico, os critérios de avaliação utilizados. Eventualmente, o técnico pode rever a sua avaliação e rectificar a ficha de avaliação. Depois, os senhorios e os arrendatários verificam os resultados e podem reclamar antes de eles se tornarem definitivos. Por último, as associações profissionais são informadas se um técnico repetidamente realiza avaliações incorrectas. A situação é investigada e, dependendo do que for apurado, o técnico pode ser excluído do sistema. Contudo, verificações aleatórias das avaliações com segundas vistorias por uma entidade supervisora não estão a ser realizadas até a data.

As instruções de aplicação contêm critérios gerais de avaliação. Para demostrar a aplicação dos critérios foram reunidos exemplos de sintomas de anomalias mais frequentes bem como fotografias ilustrativas [5]. Os exemplos estão organizados em tabelas relativas aos vários elementos funcionais, e classificados por níveis de anomalia. Alguns técnicos menos experientes podem ser levados a utilizar rigidamente os exemplos, em vez de aplicar os critérios gerais de avaliação. Contudo, considera-se que a melhoria na compreensão dos critérios gerais conseguida pela apresentação de exemplos supera o eventual inconveniente apontado. As acções de formação sobre o método podem ajudar a superar esta limitação.

A desagregação do edifício e da unidade em elementos funcionais requer que a vistoria seja realizada com algum detalhe. A opção de realizar uma vistoria exaustiva é justificado porque: um imóvel integra um conjunto extenso de elementos de construção que podem apresentar níveis de anomalia muito diversificados, sendo necessário avaliar individualmente cada uma das partes para fazer uma apreciação objectiva de conjunto; o estado de conservação resultante da avaliação tem importantes implicações na relação entre senhorios e arrendatários; deve ser claro para as partes como foi determinado o estado da conservação, contribuindo assim para a sua aceitação.

A avaliação do estado de conservação é realizada com base numa inspecção visual do locado. Não se recorre à consulta de projectos, à análise do historial de obras ou à realização de ensaios ou sondagens. Esta informação poderia contribuir para aumentar o rigor da avaliação. Porém, apenas com a vistoria é possível realizar uma despistagem das principais anomalias e obter resultados com um grau de rigor adequado à determinação do valor máximo de actualização da renda.

5 Desenvolvimentos futuros

O preenchimento da ficha de avaliação requer a recolha de muita informação durante a vistoria. Está em funcionamento um sistema informático que permite o preenchimento e a submissão electrónicos da ficha de avaliação. Este sistema contribui para a simplicidade (processo sem papel), a rapidez (automatização do método de síntese de resultados), fiabilidade (validação do preenchimento), a segurança (autenticação de fichas) e a economia (sem deslocações do técnico para entrega) de aplicação do MAEC. Porém não existe ainda uma ferramenta informática que apoie os técnicos durante a vistoria. Esta ferramenta poderá funcionar num PDA (i.e., *Personal digital assistant*) e permitir registar as respostas do técnico, inserir fotografias, validar o correcto preenchimento da ficha e aplicar o método de síntese de resultados. Uma tal ferramenta poderia também conter as instruções de aplicação, permitindo a sua fácil consulta e a resposta rápida a dúvidas surgidas durante a avaliação.

O MAEC foi desenvolvido por uma equipa de mais de trinta investigadores. Durante o seu desenvolvimento as principais opções foram discutidas com quinze entidades que intervêm no sector do arrendamento e foi realizada uma aplicação experimental. Apesar disso, é previsível que a análise dos resultados e a experiência obtida com a aplicação prática do MAEC venham a motivar aperfeiçoamentos futuros.

As instruções de aplicação incluem critérios gerais de avaliação e exemplos de sintomas de anomalias frequentes. Porém, não existe informação que explique como interpretar os sinais de anomalia e identificar as causas prováveis. Com vista a apoiar o planeamento de intervenções de conservação e reabilitação de edifícios é importante desenvolver instrumentos complementares ao MAEC que apoiem o diagnóstico das causas das anomalias e a definição dos trabalhos correctivos. Está em curso no LNEC um trabalho de investigação que visa responder aos objectivos referidos nos dois últimos parágrafos [7].

6 Bibliografia

[1] Conselho de Ministros. *Proposta de Lei de autorização legislativa para alterar o regime geral do arrendamento urbano. Exposição de Motivos.* Lisboa: 24 de Setembro de 2004. [Consult. 2009-01-06]. Disponível em: <URL: http://www.portugal.gov.pt/NR/rdonlyres/5A9BA91C-8B82-4509-A509-4ED530EB5067/0/Prop_Lei_Autorizacao.doc>

[2] Instituto Nacional de Estatística (INE). *Recenseamento da população e da habitação (Portugal) 2001: Resultados definitivos.* 1ª Edição. Lisboa: INE, 2002.

[3] Lei n.º 6/2006. *Diário da República.* I Série. N.º 41 (2006-02-27) pp. 1558-1587. [Novo Regime de Arrendamento Urbano]

[4] Pedro, J. Branco; Vasconcelos Paiva, J. *Proposta de "Método de Avaliação do Estado de Conservação de Edifícios".* Proceedings do "Encontro Nacional da Qualidade e Inovação na Construção – QIC 2006". Lisboa: LNEC, 2006. pp. 73-84.

[5] Pedro, J. Branco; Vilhena, A.; Vasconcelos Paiva, J. *Método de avaliação do estado de conservação de edifícios. Revisão e ilustração das instruções de aplicação.* Lisboa: LNEC, 2007. Relatório Confidencial n.º 297/2007 – DED/NAU.

[6] Portaria n.º 1192-B/2006. *Diário da República.* I Série. N.º 212 (2006-11-03) pp. 7708(9)-7708(15). [MAEC]

[7] Vilhena, A. *Método de avaliação do estado de conservação de edifícios. Análise, diagnóstico e contributos para o seu aperfeiçoamento. Desenvolvimento de ferramentas complementares para a definição de estratégias de reabilitação.* Lisboa: LNEC, 2007. Plano de Tese de Doutoramento.



SESSÃO XV

ESTUDO DE CASOS

INTERACÇÃO E CONDICIONANTES ENTRE SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS DE ÉPOCAS DISTINTAS

Contribuição para o Estudo da Sé Catedral de Aveiro

Adelino José Ferreira Lopes[*]
alopes@cm-aveiro.pt

M. Isabel M. Torres[†]
itorres@dec.uc.pt

Raimundo Mendes da Silva[‡]
raimundo@dec.uc.pt

Romeu Vicente[§]
romvic@ua.pt

Resumo

Este trabalho refere-se à avaliação do estado de conservação e manutenção de uma construção utilizada para fins religiosos, especificamente a Catedral de Aveiro, com vista à sua recuperação, uma vez que esta construção apresenta diversas patologias, quer de ordem construtiva, quer por falta de obras de manutenção.

A avaliação do estado de conservação foi efectuada recorrendo essencialmente ao levantamento fotográfico, topográfico e visual e foram estudadas as anomalias estruturais com o recurso a análises numéricas.

Palavras-chave: Patologia, Reabilitação.

1 Introdução

A Sé Catedral de Aveiro, está classificada como Imóvel de Interesse Público desde 1996 e sofreu diversas intervenções, acidentes e acrescentos ao longo da sua existência. A igreja estava inicialmente subdividida em 3 naves longitudinais através de duas paredes de alvenaria de pedra apoiadas em nembos e interligados superiormente por arcos romanos. Durante os séculos XVI e XVII, as naves laterais foram subdivididas com a construção de contrafortes, com o fim de eliminar o bambeamento dos nembos, originando o aparecimento das actuais capelas devocionais. Em meados do século XVII ou XVIII foram abertos vãos ovais nas paredes longitudinais da nave central e alterado o tecto para

[*] Aluno de mestrado, Departamento de Engenharia Civil – FCTUC, Portugal
[†] Prof. Auxiliar, Departamento de Engenharia Civil – FCTUC, Portugal
[‡] Prof. Auxiliar, Departamento de Engenharia Civil – FCTUC, Portugal
[§] Prof. Auxiliar, Departamento de Engenharia Civil – UA, Portugal

uma abóbada em fasquiado, de aresta ou de quatro tramos. No ano de 1843, um incêndio, seguido da explosão de um paiol, reduziu a escombros o convento (quartel à data), só sobrevivendo a igreja. Ainda, durante o século XIX foi construído o coro alto e a torre sineira. Durante a 2.ª metade do século XX, foram construídos um novo presbitério e alterada a frontaria da igreja [1].

2 Levantamento e análise de anomalias

A estrutura da cobertura da nave central é composta por asnas simples de madeira de carvalho, nas quais apoia um estrado de madeira contínuo, de madeira de pinho. O estrado e as correspondentes madres de apoio, encontram-se muito afectados por ataques dos agentes xilófagos.

Nas principais barras das asnas, o ataque dos agentes xilófagos é ligeiro e pontual, apresentando algumas barras fissuras paralelas às fibras. Estas barras foram tratadas nas zonas atacadas pelos agentes xilófagos, e todas as barras que apresentavam fissuras foram devidamente cintadas com fitas metálicas. As entregas das linhas das asnas no frechal não apresentavam podridão, pelo que não foi necessário proceder ao reforço ou à substituição destas entregas [2].

A face superior do fasquiado encontrava-se desprovida, nalgumas zonas, da camada superior de estuque e, pontualmente, no apoio do tecto sobre as mísulas, existiam manchas de podridão resultantes de infiltrações. O ripado e as nervuras do fasquiado do tecto, em madeira, encontravam-se ligeiramente atacados por agentes xilófagos.

As duas paredes longitudinais da nave central apresentavam, na sua face interior, fissuras preponderantemente verticais, distribuídas no pano de parede entre o ápice dos arcos romanos e a zona inferior das janelas ovais. Sobre a porta de acesso ao coro alto existia uma fenda diagonal a partir do vértice superior formado pela ombreira e a padieira.

A face exterior da parede encontrava-se desprovida de qualquer revestimento de pintura. O pano de parede entre as padieiras das janelas ovais e a cornija apresentava fissuras verticais e abatimentos nos arcos superiores. A zona de fixação dos esticadores na face exterior das paredes apresentava diversas fissurações e destaques da camada de reboco.

O tecto do altar é formado por lajes (0,15 m de espessura) de vigotas pré-esforçadas aligeiradas com tijoleiras cerâmicas, suportadas por vigas invertidas com vão único de 11,60 metros e uma secção de 0,30×1,20 m².

As duas vigas dos pórticos centrais dão ainda apoio a duas vigas transversais. Estas vigas transversais suportam uma estrutura em betão armado com um formato de "caixa invertida". Este elemento tem uma altura de 1,35 m, tendo a laje e paredes 0,20 m de espessura. A laje superior tem uma abertura ovalada na sua zona central que suporta uma parede tronco cónica constituída por tijolo

maciço, que por sua vez é encerrada exteriormente por uma cúpula em ferro e vidro martelado.

Existiam fendilhações longitudinais na interligação entre as lajes e as duas vigas dos pórticos centrais, junto às arestas inferiores das vigas. Estas vigas apresentavam deformações acentuadas e constatou-se que a área de armadura longitudinal existente nestas vigas (29,06 cm²) é cerca de 44% inferior à área de aço necessária (66,03 cm²) para resistir aos esforços.

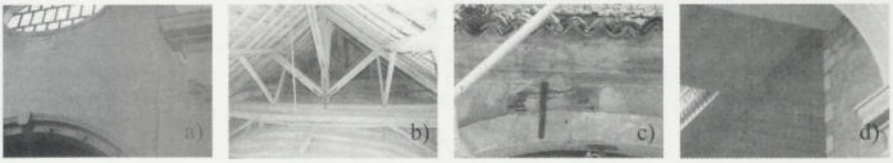


Figura 1: a) Fissuras na face interior da parede da nave central, b) Deflexão da linha da asna; c) Deficiente fixação dos esticadores no desvão da cobertura, d) Fissuração provocada por deflexão excessiva e manchas de condensação na laje em betão armado sobre a zona do altar.

3 Avaliação da segurança estrutural

Com recurso ao método dos elementos finitos foi simulado o comportamento da estrutura de suporte da cobertura através da modelação das asnas de madeira e da estrutura de madeira da abóbada do tecto (nervurada e fasquiado) como se apresenta na Figura 2-a. Nesta modelação, as dimensões das secções das peças de madeira foram reduzidas de um centímetro perimetralmente, para reproduzir a redução da secção resistente decorrente do ataque pelos agentes xilófagos. Para ter em consideração a redução da rigidez dos elementos de madeira devido a fenómenos de envelhecimento e/ou de degradação, diminuiu-se o módulo de Young em 10% (E=10GPa; madeira da classe D40).

A análise e verificação da segurança dos elementos constituintes das asnas fechadas foram efectuadas, quer considerando a secção reduzida, quer em secção carbonizada (simulando o efeito da acção do fogo), tendo-se constatado que as secções das pernas das asnas, principalmente na zona entre o apoio da madre e a linha da asna, apresentam tensões de compressão entre os 90 e os 110 % da sua capacidade resistente. Para reduzir a tensão excessiva propôs-se a introdução a meio vão, entre a madre e a linha, de uma escora e de um tirante. Deste modo, atenua-se a tensão a que a perna da asna está sujeita. Porém, após reavaliação desta acção, verificou-se um ligeiro aumento da tensão de tracção na linha da asna (embora dentro dos valores limite).

Da análise de tensões efectuada à estrutura de madeira do tecto de abóbada constatou-se que o valor das tensões (tracção e compressão) nos diversos elementos se mantém dentro dos valores máximos, com a excepção pontual da

zona de apoio inferior das abóbadas, em que as secções da nervura da intersecção das cambotas se apresentam, pela análise de tensões, no limite da sua capacidade resistente. Face a esta situação, recomendou-se que qualquer peça de madeira que apresente alguma fragilidade, mesmo que ligeira, deverá ser substituída ou reforçada.

A constituição das paredes longitudinais da nave central é variável em altura. Da cota de soleira até 2 metros, a alvenaria é de pedra irregular de calcário, com algum cuidado, quer na selecção das pedras, quer na forma de assentamento, supondo-se que a alvenaria de fundação e inferior à cota de soleira seja equivalente à anteriormente descrita. Acima dos 2 metros, a alvenaria é de pedra argamassada, apresentando um aparelho tosco, diminuindo a predominância de pedra de origem calcária [3].

Relativamente às paredes de alvenaria, os resultados obtidos pela simulação numérica para uma combinação de acção vertical (peso próprio e sobrecarga vertical) revelam que os valores de tensão de tracção e de compressão são inferiores aos máximos aceitáveis ($\sigma_{tracção} = 0.1$ MPa; $\sigma_{compressão} = 0.9$ MPa).

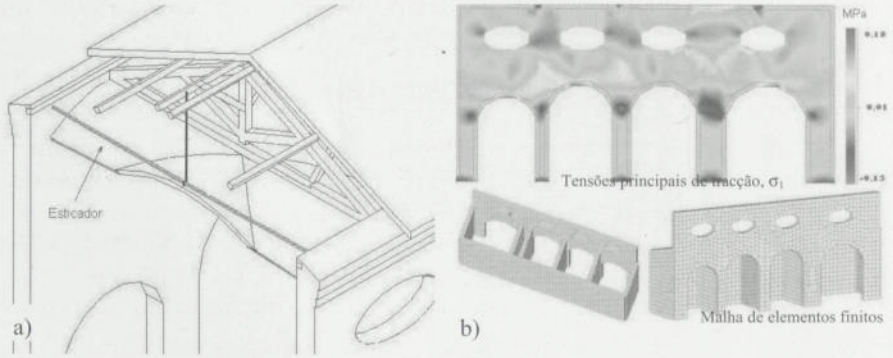


Figura 2: a) Esquema estrutural da cobertura da nave central; b) Modelo estrutural da parede (dir) visualizando-se as zonas traccionadas debaixo das janelas.

As tensões de compressão instaladas na parede, variam entre 0,4 a 0,6 MPa, inferiores à tensão de cedência estimada para a alvenaria de pedra, enquanto que as tensões de tracção variam entre os 0,08 e 0,1 MPa, valores estes, no limite da tensão de cedência à tracção estimada para esta alvenaria.

No ano de 2000, entrou em funcionamento um túnel rodoviário nas imediações da igreja (a cerca de 10 metros de uma das fachadas laterais). Esta construção poderá ter alterado o estado de tensão inicial do solo de fundação da igreja devido ao consequente rebaixamento do lençol freático nesta zona.

Se, para a combinação de acção vertical utilizada para avaliar o estado de tensão das paredes de alvenaria, for adicionado um assentamento diferencial de apoio de 1 mm, para simular de forma simplificada os potenciais efeitos da construção do túnel anteriormente descritos, constata-se que as tensões de

compressão instaladas na parede aumentam para valores próximos da tensão de cedência à compressão da alvenaria, enquanto que as tensões de tracção instaladas excedem claramente o limite da tensão de cedência à tracção estimada para este tipo de alvenaria (ver Figura 2-b). Através da simulação também se verificou, que ocorre devido ao assentamento, um ligeiro deslocamento horizontal para fora do plano da parede.

Do exposto, pode admitir-se que o aparecimento das fendas verticais após a construção do túnel, na face interior da parede e na área compreendida entre a zona inferior das janelas ovais e o ápice do arco (ver Figura 1-a), foram causadas pela combinação de elevadas tensões de tracção nessas zonas da parede, agravadas pela deformação para fora do seu plano vertical.

No fim do século XIX, foi construído sobre a zona de acolhimento da igreja o coro alto (zona de entrada), bem como o correspondente acesso que estabelece a interligação com a torre sineira. O pavimento de acesso ao coro alto foi executado em alvenaria de pedra, apoiada no extradorso de uma abóbada das capelas laterais e na parede da frontaria. Como o nível do pavimento do coro alto era inferior ao ápice dos arcos de acesso às capelas laterais, estes foram rebaixados, conforme se observa na Figura 3-a.

Este rebaixamento de natureza estética transformou o arco romano num arco abatido ou de asa de cesto, concebido com recurso a um sistema de tabique, em que as tábuas de madeira são justapostas e rebocadas na sua face exterior. Os arcos existentes adjacentes ao coro alto em cantaria trabalhada foram ligeiramente danificados e ocultos por uma camada de reboco.

Durante a intervenção de manutenção da igreja, encontrou-se um reforço estrutural no arco adjacente ao acesso ao coro alto. Este reforço estrutural é constituído por barras quadradas de ferro forjado com cerca de 32 mm de espessura, interligadas por parafusos com 20 mm de diâmetro (ver Figura 3-b).

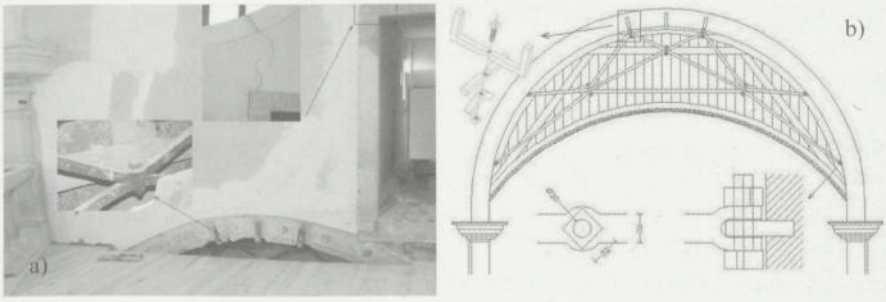


Figura 3: a) Rebaixamento e reforço estrutural em ferro forjado do arco da capela lateral; b) Esquema estrutural do reforço.

Este reforço estrutural poderá ter sido construído aquando da construção do acesso ao coro alto, ou poderá ter sido um reforço estrutural posterior, para

corrigir um abatimento do arco. Presentemente, continua a originar anomalias construtivas, nomeadamente fissuração, devido a um evolutivo abatimento do arco. Numa primeira análise, este abatimento tem origem na degradação da rigidez motivada pela fluência do material estrutural (ferro forjado) e da diminuição das dimensões das secções transversais das barras de ferro devido à oxidação ao longo do tempo. É visível a existência de uma fendilhação inclinada típica de um assentamento diferencial de uma parede de alvenaria junto à porta do acesso, consistindo em fendas diagonais a partir do vértice entre ombreira e padieira da abertura do vão.

4 Conclusões

No levantamento das anomalias, houve zonas que não foram contempladas. Será pois necessário proceder à inspecção pormenorizada das fundações, à avaliação das tensões instaladas nas paredes (através de macacos planos) e à identificação dinâmica (medição de frequências).

Como medidas simples e imediatas, propõe-se a monitorização do edifício através de: miras topográficas, que permitem avaliar e acompanhar as deformações verticais e horizontais da parede longitudinal; fissurómetros instalados junto às principais fendas actualmente visíveis, para disponibilizarem informação sobre as variações da sua largura e extensão, permitindo estimar as variações de tensão de tracção e ou de deformação que a parede venha a sofrer. Nas obras de manutenção efectuadas, além de garantir e recuperar a estanquidade das diversas coberturas, e de reforçar estruturalmente certas áreas, foram criadas zonas de acesso para limpeza e manutenção das diversas coberturas.

Com esta intervenção pretende-se criar condições e garantias para que esta construção - que está quase a completar seis séculos de existência - recupere e melhore todas as suas capacidades funcionais, sem alterar ou modificar significativamente os materiais e as formas do edifício, e que este continue a ser um marco na história da arquitectura religiosa da cidade de Aveiro.

5 Bibliografia

[1] Gaspar, J. G. *Catedral de Aveiro – História e Arte*. Edição da Paróquia de N.ª Sr.ª da Glória, Aveiro 1979.

[2] Cóias, V. *Reabilitação Estrutural de Edifícios Antigos - Alvenaria - Madeira - Técnicas Pouco Intrusivas*. ARGUMENTUM/GECoRPA, 2007.

[3] Appleton, J. *Reabilitação de Edifícios Antigos - Patologias e Tecnologias de Intervenção*. EDIÇÕES ORION, 2006.

A EFICÁCIA NOS PROCESSOS DE RECUPERAÇÃO DE PATOLOGIAS EM EDIFICAÇÕES NO ESTADO DE MINAS GERAIS

Ana Paula Veloso Valente*
anapaula.veloso@hotmail.com

Adriano de Paula e Silva†
apsilva@demc.ufmg.br

José Márcio Fonseca Calixto‡
calixto@dees.ufmg.br

Resumo

A recuperação de edificações com problemas patológicos engloba inicialmente um minucioso estudo com o objetivo de auxiliar na escolha do tipo de tratamento mais adequado. Este estudo deve levar em conta, além de questões técnicas também a relação custo/benefício que este tratamento trará para a edificação. Outro fator importante que também deve ser observado em recuperação/reforço das edificações é um acompanhamento pós recuperação, pois é através deste acompanhamento que pode ser verificado a eficácia do tratamento. Nesta etapa pode ser confirmada a eficiência do procedimento ou o descarte do mesmo caso haja ineficiência, evitando assim gastos desnecessários.

Com o objetivo de análise de pós recuperação, foram pesquisadas edificações de um órgão público do Estado de Minas Gerais/Brasil que haviam passado por algum tipo de recuperação/reforço. Inicialmente, avaliaram-se as patologias mais correntes e os tratamentos utilizados na correção dessas patologias. A partir destas informações definiram-se as edificações e patologias que seriam objeto de estudo.

O trabalho mostrou através das vistorias realizadas nestas edificações que apenas parte dos processos adotados foi eficiente. A pesquisa teve como foco a análise das medidas terapêuticas adotadas inicialmente, verificando se houve reincidência das patologias devido a problemas de tratamento.

Finalmente nos casos de retorno dos problemas patológicos são propostas novas medidas terapêuticas.

Palavras-chave: Eficácia, Patologias, Recuperação.

* Engenheira Civil M.Sc., Tribunal de Justiça do Estado de Minas Gerais.
† Professor Dr. da Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais.
‡ Professor Dr. da Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais.

1 Introdução

A realidade da construção civil no Brasil apresenta um grande número de edificações com patologias. Estas patologias são devidas, na maioria das vezes, a uma combinação de fatores correlatos, tendo como origem deficiências nas etapas de planejamento, projeto, execução, uso e manutenção dos edifícios. Apesar da existência das patologias é pequeno o número de resultados relativos à verificação do comportamento e desempenho dos diversos elementos das construções reforçados ou recuperados pelos vários processos existentes. Na análise do processo de recuperação e/ou reforço em edificações são verificadas questões relativas ao custo de se fazer tal processo, bem como a rapidez necessária à liberação da edificação, conforme apresentado por [1].

2 Metodologia do trabalho

A metodologia da presente pesquisa buscou caracterizar as patologias de edificações de um órgão público do Estado de Minas Gerais-Brasil, observando as de maior incidência, com as causas e sintomas que as originaram, bem como as medidas terapêuticas adotadas para as mesmas, através de estudos realizados por [2] e [3].

Através de um estudo realizado por [4] para os oito principais grupos de defeitos: hidráulica, paredes, impermeabilização, esquadrias de alumínio, esquadrias de madeira, azulejos, piso cerâmica e elétrica, concluiu-se que:

"O tempo mínimo necessário ao aparecimento de possível retorno de problemas patológicos decorrentes de uma solução inadequada para a recuperação deve ser para um período completo de cinco anos, não apenas por tratar de um período de garantia legal, mas também porque é neste período em que a incidência de defeitos é mais baixa".

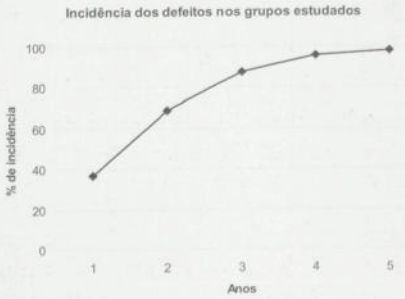


Figura 1: Incidência percentual do total de defeitos ao longo de 5 anos (Fonte: Adaptado de Bernardes *et al.* (1998) [4]).

Apesar da consideração do tempo mínimo de cinco anos para análise de defeitos, para este trabalho foram utilizadas edificações que tiveram sua recu-

peração efetuada há pelo menos três anos. Observando a Figura 1, apresentada por [4] vemos que a partir do terceiro ano já ocorreu mais de 80% dos defeitos construtivos.

3 Estudo de caso

A instituição estudada possui um grande número de edificações, sendo que algumas destas já passaram por algum tipo de tratamento ao longo dos anos. Após a realização destes tratamentos não foi feita análise do desempenho das terapias adotadas para verificar o seu desempenho. Assim, este trabalho apresenta como proposta, a verificação do desempenho das medidas terapêuticas, visando com isto além de dar uma contribuição para ciência, reduzir retrabalho e custos quando da utilização de medidas terapêuticas inadequadas.

Num universo de 51 edificações foram analisados os sintomas e causas de maior incidência, chegando assim às edificações das cidades que serão estudadas com seus sintomas: Bambuí (movimentação higroscópica e impermeabilização), Corinto (recalque de fundação, movimentação higroscópica e impermeabilização) e Sabará (recalque de fundação).

As vistorias para reforço e/ou recuperação ocorreram entre o ano de 2002 e 2004, sendo que em agosto de 2008 as edificações foram visitadas para verificação da situação atual.

3.1.1 Bambuí

3.1.2 Patologia 1 - Impermeabilização

Havia infiltrações no teto, cujo agente causador foi os entupimentos das calhas da estrutura do telhado da edificação, devido à falta de limpeza e manutenção, associado à existência de telhas e engradamento quebrados e apodrecidos, Figura 1.

Também havia infiltrações na base das edificações devido à falta de impermeabilização na ligação entre a fundação e a estrutura da edificação.

Tratamento adotado: Demolição e retirada de todas as partes danificadas, construção de uma nova cobertura. Na base da edificação ocorreu demolição do reboco danificado, com posterior aplicação de argamassa de revestimento impermeabilizante e pintura.

3.1.3 Patologia 2 - Movimentação higroscópica

O agente causador desta patologia foi à utilização de materiais inadequados como o saibro na composição da argamassa de revestimento, conforme Fig. 3.

Tratamento adotado: Demolição e retirada de todas as partes danificadas e execução de nova argamassa de revestimento sem saibro.

3.1.4 Corinto

3.1.5 Patologia 1 - Recalque de fundação

Aparecimento de deformações diferenciadas do solo ao longo do plano das fundações. O solo sob a edificação é mole, provocando o surgimento de inúmeras trincas.

Tratamento adotado: Após a conclusão da sondagem e o mapeamento das trincas na edificação adotou-se um reforço de fundação através de tubulões. Concluído o reforço as trincas foram costuradas, utilizando sistema rígido, Figura 5.

3.1.6 Patologia 2 - Impermeabilização

Os agentes causadores das infiltrações foram os entupimentos das calhas da estrutura do telhado da edificação, devido à falta de limpeza e manutenção, associado à existência de telhas e engradamento quebrados e apodrecidos, vide Figura 7.

Tratamento adotado: Demolição e retirada de todas as partes danificadas, construção de uma nova cobertura.

3.1.7 Patologia 3 - Movimentação higroscópica

O agente causador desta patologia foi à utilização de materiais inadequados como o saibro na composição da argamassa de revestimento, conforme Fig. 9.

Tratamento adotado: Demolição e retirada de todas as partes danificadas e execução de nova argamassa de revestimento sem saibro.

3.1.8 Sabará

3.1.9 Patologia 1 - Recalque de fundação

Aparecimento de trincas provocadas por recalques de fundação devido ao fato da mesma estar assentada em camadas de argila de baixa resistência, Fig. 11.

Tratamento adotado: Após a conclusão da sondagem e o mapeamento das trincas na edificação adotou-se um reforço de fundação através de tubulões. Também foi necessário o reforço da estrutura através da adoção de pilares, bem como a costura das trincas, utilizando o sistema rígido.

4 Resultados observados

Para fazer a análise pós recuperação das edificações foram realizadas vistorias *in loco* destas.

4.1.1 Recalque de fundação

Nos casos das edificações situadas nas cidades de Corinto e Sabará, as causas relacionadas aos problemas de recalque de fundação tiveram a sua origem na etapa de projeto, visto que os recalques de fundação ocorreram devido ao

fato de suas fundações estarem apoiadas em solos que não apresentavam capacidade de suporte.

Tabela 1: Edificações, situações ante e após tratamento e observações.

EDIFICAÇÃO	SITUAÇÃO ANTES DO TRATAMENTO	SITUAÇÃO APÓS TRATAMENTO	OBS.
BAMBUÍ	 Fig.1: Infiltração teto (2003)	 Fig.2: Tetos após tratamento (2008)	O tratamento efetuado mostrou-se eficaz, não havendo retorno da patologia após tratamento
	 Fig.3: Mov. hig. base edif. (2003)	 Fig.4: Edif. após tratamento (2008)	O tratamento efetuado mostrou-se eficaz, não havendo retorno da patologia após tratamento
CORINTO	 Fig.5: Execução de tubulão (2002)	 Fig.6: Reforço com tubulão (2008)	O tratamento efetuado mostrou-se eficaz, não havendo retorno da patologia após tratamento
	 Fig.7: Infiltração teto (2002)	 Fig.8: Tetos após tratamento (2008)	O tratamento efetuado mostrou-se eficaz, não havendo retorno da patologia após tratamento
	 Fig.9: Mov. higroscópica (2002)	 Fig.10: Fachada após trat. (2008)	O tratamento efetuado mostrou-se eficaz, não havendo retorno da patologia após tratamento

EDIFICAÇÃO	SITUAÇÃO ANTES DO TRATAMENTO	SITUAÇÃO APÓS TRATAMENTO	OBS.
SABARÁ	 Fig.11: Trincas recal. Fundação (1992)	 Fig.12: Edif. após reforço (2008)	O tratamento efetuado mostrou-se eficaz, não havendo retorno da patologia após tratamento

Nestas edificações o tratamento utilizado foi eficaz, não sendo verificado retorno da patologia após o tratamento. Conforme apresentado nas Fig. 6 e 12.

4.1.2 Movimentação higroscópica

Em todas as edificações estudadas não foi constatado retorno da patologia que tinha como agente causador a movimentação higroscópica, vide Fig.4 e 10.

4.1.3 Infiltração

O tratamento desta patologia apresentou resultados satisfatórios nas edificações apresentadas, conforme Figuras 2 e 8.

5 Conclusões

Através deste trabalho pode-se verificar o resultado das medidas terapêuticas para o tratamento de patologias como recalque de fundação, movimentação higroscópica e infiltração.

Observamos que o período de 3 (três) anos é suficiente para análise de manifestação de patologias, visto que nas edificações estudadas o retorno das patologias pós-tratamento apareceu num período inferior a este.

Conforme análise do desempenho das medidas terapêuticas nas principais patologias encontradas nesta edificação, obtivemos desempenho satisfatório em 100% dos tratamentos efetuados para infiltração, movimentação higroscópica e recalque de fundação.

6 Bibliografia

[1] Helene, P., Figueiredo, E. P. *Introdução In: DEGUSSA. Manual de reparo, proteção e reforço de estruturas de concreto.* São Paulo: Red Rehabilitar, 2003, pp. 19-34.

[2] Valente, A. P. V. *Monografia sobre Estudo das patologias mais comuns encontradas nas edificações dos fóruns de Minas Gerais.* Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

[3] Assunção, J. A. H. R. *Dissertação sobre Patologia e Terapia dos edifícios do Tribunal de Justiça do Estado de Minas Gerais.* Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

[4] Bernardes, C. et al. *Qualidade e o custo das não-conformidades em obras de construção civil.* São Paulo: PINI-Secovi-SP, 1998.

A HABITAÇÃO COLECTIVA MODERNA DO PORTO – REABILITAÇÃO E MANUTENÇÃO

Apresentação de Um Caso Prático

Ana Cabral Pacheco de Miranda da Franca*
ana.franca@francaarquitectura.com

Resumo

Da multiplicidade de arquitecturas de vertente moderna, concebidas no sec. XX, no Porto, demonstra-se que existe uma adaptação do Movimento Moderno a esta realidade urbana particular, que importa destacar, compreender e valorizar. Em termos de estado de conservação, na generalidade, estas arquitecturas reflectem um distanciamento entre diferentes agentes no seu conhecimento e na sua valorização, de que resulta a passividade geral que condena este património a diversos estados patológicos de degradação.

Pretendemos com esta comunicação apresentar o estudo† do diagnóstico do estado de conservação e a reflexão valorativa dos edifícios modernos de habitação colectiva do Porto, analisando um caso concreto, o Bloco Parnaso – edifício emblemático e determinante no processo de urbanização da cidade do Porto de meados do sec. XX, na contribuição da afirmação da arquitectura de qualidade e na confirmação da linguagem moderna.

Partindo do conhecimento deste caso prático, analisa-se uma metodologia construtiva, entre o betão e os novos revestimentos, potencializadores da renovação formal de meados do sec. XX.

Paralelamente, reconhece-se o estado de degradação da edificação moderna, investigam-se as fragilidades de um sistema construtivo recente, encetando conjecturas para a sua reabilitação e manutenção.

Por último, descreve-se a sua análise patológica, que poderá ser extensível a outros casos de estudo, com a mesma génese construtiva e tipológica, e entendida como ferramenta com utilidade exemplificativa para futuras intervenções de reabilitação.

Palavras-chave: Moderno, Património, Metodologia, Degradação, Reabilitação.

---

*Arquitecta, Mestre em *Metodologias de Intervenção no Património Arquitectónico* da Faculdade de Arquitectura da Universidade do Porto.

†O estudo nesta temática é consequente da elaboração da dissertação "*A habitação colectiva moderna do Porto: 1925-1965*", apresentada no âmbito do Mestrado em *Metodologias de Intervenção no Património Arquitectónico* da Faculdade de Arquitectura da Universidade do Porto e orientada pelo Prof. Doutor Carlos Guimarães. O caso prático apresentado é sua parte integrante.

1 Breve enquadramento histórico

1.1 O Moderno: a afirmação e a adaptação ao cenário português

Na viragem dos anos 50 do sec. XX a produção arquitectónica na cidade do Porto caracteriza-se pela inspiração no Movimento Moderno internacional e pela exploração global das questões urbanas, formais, tipológicas, programáticas e construtivas do projecto moderno [1], quer ao nível teórico, quer prático.

É neste território que se regista a implantação de alguns dos exemplos mais representativos de uma modernidade *domesticada*, com novos programas mistos de habitação/comércio/serviços que potenciam o enraizamento de novas expressões e conceitos. Numa desestruturação dos esquemas académicos e na absorção de uma linguagem popular, onde se especificam as mensagens funcionais das partes do edifício [2], em paralelo com a procura de um renovado método construtivo, comprova-se um entendimento e exploração da intervenção ao nível do impacto na cidade e da sua autonomia enquanto unidade urbana. Das novidades da linguagem moderna na habitação colectiva portuense, poderemos enumerar: a experimentação plástica e técnica do betão; a exploração da relação entre volumes diversos; o emprego e o entendimento de novos materiais; a dignificação dos acessos públicos; a maximização da importância da chegada ao edifício; a polivalência e a dinâmica de algumas áreas dentro dos fogos; a introdução de novas tipologias (como por exemplo o tipo 0) e a execução de novidades tecnológicas.

2 O valor dos Modernos

De facto, a produção arquitectónica da habitação colectiva do Porto de '50, confirma uma nova metodologia construtiva, oferece uma renovada exploração formal, introduz questões sociais, insere novidades tipológicas, inscreve o urbanismo no vocabulário, promove a fertilidade estética e considera o vernacular e o contextual como parâmetros do projecto. Sobretudo, comprova o desenvolvimento de arquitecturas de autor com vocabulários próprios que formam a génese de uma identidade, causa suficiente para defender o seu valor patrimonial.

Embora conquistado o seu reconhecimento pelas instituições nacionais (OA e IGESPAR) e internacionais (Docomomo), paradoxalmente, não é significativo o número de obras modernas abrangidas por disposições protectivas (apenas três estão classificadas), e regista-se o estado de degradação em 70% dos imóveis. Refira-se que, do nosso levantamento a vinte e cinco edifícios com tipologia colectiva, em primeiro lugar, registámos as fragilidades de um processo construtivo recente, associadas à falta de manutenção global, a partir do qual concluímos que a situação crítica é generalizada e reveste-se de delicada importância, porque progride a favor de um quadro patológico crónico e da passividade geral. Em segundo lugar, o diagnóstico do estado actual dos casos de estudo considerados, teve duas aborda-

gens diferenciadas ao nível do exterior dos edifícios: anomalias de origem humana e anomalias por acções naturais. Resultou que, a tipificação patológica era extremamente problemática devido à variedade de materiais existentes, à diversidade de opções construtivas, ao meio ambiente, ao uso quotidiano, às operações de manutenção, à inacção humana e à interacção de causas-efeitos das patologias. Por essa razão, julgamos da maior importância registar o diagnóstico individual do Bloco Parnaso, pela sua transversalidade a outros exemplos modernos, na sua génese construtiva e anomalias comuns.

3 O Bloco Parnaso

3.1 Análise urbana e arquitectónica

O Bloco Parnaso assinado pelo Arqt.º José Carlos Loureiro, em 1955, tem implantação em forma de "U" num lote de cunhal de configuração quadrangular localizado na Rua de Oliveira Monteiro e na Rua Nossa Senhora de Fátima, e recebe um programa misto de habitação, comércio e equipamento (Fig.1c). A importância da inserção urbana e da composição global do edifício são temáticas abordadas na proposta, em que a implantação é tratada, de forma orgânica na relação dos cinco volumes escalonados na R. Oliveira Monteiro, em associação com o grande bloco autónomo de seis pisos, recuado e paralelo à R. N.ª Sr.ª de Fátima, conseguindo-se o controlo da escala e do respeito pelo *sítio*.

Nos alçados, a horizontalidade é obtida através da composição dos vãos, reforçada pelas galerias de distribuição do edifício principal e pela oposição do volume vertical envidraçado da caixa de escadas. A opção distributiva das galerias de acesso, permite resolver as questões de transposição de escalas, da sequência da área pública para a privada [3], da privacidade das habitações e da imagem luz-sombra em composição com as alhetas das suas guardas (Fig.1a). Paradoxalmente, o edifício de Oliveira Monteiro, desdobrado em volumes de dois pisos, é tratado através da oposição das superfícies cerâmicas e dos vãos à face da fachada, potenciando-se a plasticidade dos materiais (Fig.1b). Da experimentação tipológica resulta, entre outros, a execução de apartamentos tipo 1, e o aparecimento de soluções distributivas, aliadas a uma preocupação funcional e de habitabilidade.



Figura 1: Bloco Parnaso: a) Alçado da R. N.ªSr.ª Fátima; b) Vista da fachada posterior do volume da R. N.ªSr.ª Fátima e edificações da R. Oliveira Monteiro; c) Planta do r/c- s/esc.

3.2 Análise construtiva

A inovação formal é reforçada pela variedade volumétrica, possível através do betão armado, submetido ao desenho arquitectónico, onde a estrutura é elemento da composição dos alçados.

Ao nível dos revestimentos exteriores regista-se grande riqueza na sua diversidade e conjugação, materiais "*escolhidos por forma a dispensarem trabalhos frequentes de conservação*"[4]: pastilha de vidro nas paredes da cave, no revestimento dos paramentos dos blocos de Oliveira Monteiro, nos pilares da passerelle de entrada em N.ª Sr.ª de Fátima, na marcação das lajes e nas guardas das galerias; azulejo nas paredes das últimas em conjugação com reboco areado fino; empenas a tijolo amarelo vidrado; cerâmica moldada no piso térreo; vidro; ferro; pavimentos em cerâmica e betonilha de cimento com mistura de inertes.

A totalidade da caixilharia exterior é em madeira pintada, excluindo-se a da porta de entrada e a dos blocos de Oliveira Monteiro, em alumínio com acabamento anodizado e lacado. A colocação de peças de serralharia em ferro pintado reserva-se às grades de protecção do passadiço de entrada e do fosso frontal. Os caixilhos existentes nas galerias de distribuição, que formam pequena alheta transparente nos grandes panos horizontais da fachada, apresentam perfilariam em latão com vidro transparente e colorido.

3.3 Diagnóstico

3.3.1 Levantamento

Como já referido, o presente levantamento do Bloco Parnaso (em vias de classificação [5]) tem o objectivo de alerta pela degradação [6], pela adulteração das características originais e pelo caso ser paradigmático e extensível a outros exemplos. Paralelamente, serviu de base à elaboração da análise patológica, e teve as seguintes acções:

- levantamento fotográfico do edifício, da envolvente e de edifícios com idênticas características construtivas;
- pesquisa histórica: através do projecto, do processo de licenciamento, de testemunhos vivos, de bibliografia e de fotografias da época de construção;
- levantamento arquitectónico: plantas, cortes, alçados e pormenores;
- caracterização construtiva: entendimento das questões conceptuais e técnicas.

3.3.2 Análise patológica

A situação crítica observada *in situ* do exterior do edifício é consequência, em primeiro lugar, de algumas patologias atribuídas a opções de desenho mas é, fundamentalmente, devida ao envelhecimento dos materiais e ao uso e abuso da construção, durante cinquenta anos.






Figura 2: a) Degradação do tijolo vidrado e dos elementos em ferro; b) Alhetas em perfilaria de latão e vidro, nas guardas das galerias de acesso; c) Caixilharia de madeira.

Observámos a alteração de alguns elementos originais, nomeadamente a substituição da caixilharia de madeira por alumínio anodizado, a colocação de grades protectoras em ferro pintado em alguns vãos e a passagem de infra-estruturas pelo exterior. Relativamente à descrição patológica, registou-se:

- degradação e fissuração dos muretes de acesso às habitações, provavelmente devido ao efeito da humidade e eventual fissuração do material de suporte;
- degradação e fissuração dos revestimentos das paredes, por acção da água, do vento e da insolação;
- proliferação de sujidade de cor negra nos revestimentos, com causa na poluição atmosférica, humidade e vento;
- manchas de sujidade e escorrências na superfície das paredes, lajes, pilares e pala de entrada devido à poluição atmosférica, água constante, humidade e vento;
- degradação do tijolo vidrado, com sinais de desgaste da camada protectora, por acção do vento, chuva e sol e eventuais acções químicas (Fig.2a);
- destacamento da pastilha de vidro e deterioração da argamassa das juntas com origem nas tracções da argamassa e/ou na compressão da cerâmica (Fig.2b);
- deterioração dos caixilhos em madeira, com aspecto seco e fendido, e constatação do generalizado empolamento e destacamento de tinta, por acção da humidade e radiação solar (Fig.2c);
- concentração de humidade e sujidade junto aos caixilhos em latão e em alumínio, com particular incidência nos vãos das galerias, sendo visível a proliferação de agentes biológicos;
- peitoris e soleiras pontualmente fissurados devido à provável fractura do suporte por acção da humidade;
- degradação generalizada dos rufos, verificando-se manchas de cor negra, pela constante passagem de água;
- existência de sistema de drenagem deficiente, afectando principalmente a pala de entrada e as gárgulas, com apresentação de manchas negras e proliferação de plantas provocadas pela humidade e passagem persistente de água;
- degradação e aparecimento de manchas de humidade no revestimento por debaixo das varandas por infiltração e fixação de água nos revestimentos;

- deterioração dos elementos metálicos como guardas, com consequente destacamento da pintura, ferrugem e perdas de secção, devido ao efeito de corrosão por humidade, ou seja, por oxidação do metal.

4 Considerações finais

A observação e investigação do Bloco Parnaso pretendem aprofundar as questões de análise, nomeadamente no diagnóstico patológico do seu exterior, no registo das alterações ao projecto original e nos danos sofridos pelo uso quotidiano. Paralelamente, ambiciona despertar as consciências dos agentes envolvidos para o seu estado de degradação progressiva e confirma a importância da sua arquitectura de qualidade, que deverá ser concludente para o processo valorativo e para a avaliação prática da intervenção/inacção, abrindo portas à possível reabilitação, deste e de outros edifícios modernos.

A metodologia de intervenção deverá ser discutida caso a caso, mas há que destacar a importância da possibilidade de salvaguarda do edifício apresentado, que poderá ser elucidativa na gestão da propriedade colectiva, transformadora da qualidade do ambiente urbano e potenciadora da memória do projecto moderno.

Concluindo, pensamos que esta apresentação contribuiu para a abordagem do caso de estudo na óptica da reabilitação e deverá ser entendida como uma ferramenta de utilidade exemplificativa para as acções futuras. Os desafios metodológicos da salvaguarda deverão e poderão resultar na reabilitação global do edifício e da arquitectura de '50 do séc. XX, testemunho do período de fertilidade estética e tecnológica. O que torna urgentes as intervenções a executar e pertinente a investigação dessa Arquitectura Moderna, porque o seu estudo poderá fornecer dados de grande importância para a sua protecção e conservação.

5 Bibliografia

[1] Tostões, A.C. *Cultura e Tecnologia na Arquitectura Moderna Portuguesa*, Dissertação de Doutoramento, Inst. Superior Técnico, 2002, pp.756-757.

[2] Zevi, B. *A Linguagem Moderna da Arquitectura*, Lisboa, D. Quixote, 1984, p.45.

[3] AAVV. *Porto 1901/2001 – Guia da Arquitectura Moderna*, ficha n.º 15, Porto, Ordem dos Arquitectos e Livraria Civilização Editora, 2001.

[4] Loureiro, J.C., Memória Descritiva, *Processo de licenciamento n.º1775-26.Jan.55*, licença n.º687-14.Nov.55, Arquivo Hist. Mun. Porto, 1955.

[5] Despacho n.º 130/2004, de 30.Dez., *Processo de classificação DRP/CLS-1839*, Arquivo IPPAR, 2004.

[6] Costa, X., Escolano, V.P. *Arquitectura do Movimento Moderno, Inventário Docomomo Ibérico*, Lisboa, Barcelona, Edição Ass. dos Arquitectos Portugueses, Fund. Mies van der Rohe, Docomomo Ibérico, 1997, p.12.

ESTRATÉGIAS NA REABILITAÇÃO DOS LABORATÓRIOS DE PESQUISAS BIOMÉDICAS DA FIOCRUZ – BRASIL

Sergio Murilo Vieira de Souza*
smurilo@fiocruz.br

Eduardo Linhares Qualharini†
qualharini@all.com.br

Resumo

O artigo descreve as estratégias e soluções empregadas na requalificação do Pavilhão Carlos Chagas pertencente ao Instituto Oswaldo Cruz (IOC), principal unidade de pesquisa biomédica da Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), destacada instituição de ciência e tecnologia em saúde da América Latina, vinculada ao Ministério da Saúde, localizada na cidade do Rio de Janeiro, Brasil. Construído na década de 40, com o objetivo de abrigar laboratórios de pesquisas biomédicas, a edificação composta de cinco pavimentos, faz parte do rico acervo arquitetônico da Fiocruz com características específicas, que a qualificam, no estilo, como representante da evolução da arquitetura moderna.

Aplicando o conceito do "retrofit", de preservação da memória, da história e da arquitetura, a reabilitação do Pavilhão Carlos Chagas teve como princípio aumentar a sua vida útil através da incorporação de avançadas tecnologias em sistemas prediais e no emprego de modernos materiais. No caso específico que são os laboratórios de pesquisas biomédicas, a própria especificidade dos ambientes exigiu a inserção da edificação na modernidade tecnológica, em virtude dos fundamentos e normatizações estabelecidas pela biossegurança.

Assim, o Pavilhão Carlos Chagas se encontra num processo de reestruturação, e de ampla reformulação predial, sendo a primeira revitalização em sua vida útil - no objeto de promover a eficiência da modernização construtivo-arquitetônica; traduzida pela inserção de atualidade tecnológica e otimização dos espaços; no conforto, segurança e funcionalidade da edificação.

Palavras-chave: Reabilitação, Requalificação, Intervenção em Biossegurança.

* Arquiteto, Inst. de Desenv. Municipal/Fund. Oswaldo Cruz – DIRAC/Deptº Proj. e Obras.
† Eng. Civil, D.Sc., Prof. Assoc. da Escola Politécnica e do PROARQ/FAU - UFRJ, responsável pelo Laboratório de Usabilidade das Edificações – Poli/UFRJ.

1 Introdução

A Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), órgão do Ministério da Saúde é uma instituição de caráter público, que desempenha papel essencial na evolução tecnológica e no progresso científico na área da saúde e biossegurança.

O Instituto Oswaldo Cruz - IOC compõe uma das unidades técnico científicas da Fiocruz com sessenta e seis laboratórios de pesquisas biomédicas, credenciados, que realizam pesquisa e desenvolvimento e inovação no campus da Fiocruz. Estes laboratórios localizados em antigos pavilhões possuem ambientes complexos, em espaços diferenciados, com requisitos específicos, que por sua vez, inviabilizam a flexibilidade de expansão.

Anualmente são executadas obras de construção, requalificação e acréscimo nas edificações do Campus da Fiocruz, sendo competência do Departamento de Projetos e Obras – DPO, pertencente à Diretoria de Administração do Campus, a responsabilidade pela elaboração dos projetos arquitetônicos, complementares e o gerenciamento dos contratos de obras.

Este artigo apresenta como estudo de caso, o Pavilhão Carlos Chagas do IOC, enfatizando o processo de projeto de requalificação dos laboratórios de pesquisa biomédica.

1.1 Contextualização situacional

No contexto atual as instituições de pesquisas biomédicas vêm adotando medidas de biossegurança específicas, baseadas em normas nacionais e internacionais quanto à conservação e a manipulação de microorganismos patogênicos. A implantação dessas regulamentações nacionais e internacionais justifica-se em razão do desenvolvimento progressivo da moderna biotecnologia, em especial da engenharia genética, do avanço tecnológico das pesquisas laboratoriais, e dos riscos potenciais e efetivos das práticas de manipulação de microrganismos, material clínico, animais inoculados e plantas transgênicas [1].

Entretanto, a requalificação dos espaços laboratoriais e a viabilização dos projetos dependem de orientações da Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA, da Fundação Nacional de Saúde - FUNASA e da Comissão Técnica Nacional de Biossegurança – *CTNBio*, que exigem requisitos de qualidade e biossegurança específicos para os laboratórios de pesquisa biomédica, demandando, inclusive, uma nova infra-estrutura física para a realização das atividades científicas, nos riscos biológicos manipulados [2] [3].

Em virtude de novas tecnologias torna-se necessário, propor ações que viabilizem a reabilitação de antigas edificações laboratoriais e principalmente de se estabelecer critérios de desempenho para a edificação, aliando qualidade, produtividade, otimização dos espaços e dos requisitos de biossegurança.

1.2 Fundamentação bibliográfica

A partir de 1900, efetua-se, no Rio de Janeiro, a consolidação da pesquisa na área biomédica através da fundação do Instituto Soroterápico Federal de Manguinhos, também conhecido com Instituto Oswaldo Cruz, planejado para ser "um Instituto para estudo das doenças infecciosas tropicais, segundo as linhas do Instituto Pasteur de Paris" [4].

O Instituto Oswaldo Cruz, organização centenária, implantada logo após as descobertas que geraram a era da microbiologia, participou diretamente das sucessivas fases conceituais de trabalho em áreas de contenção, até a atual em que se exige rígidas práticas, visando gerenciar o risco no laboratório [5].

No processo de planejamento das edificações para fins laboratoriais e em particular dos ambientes mais especializados, para fins de pesquisa, a arquitetura tem como premissa que o espaço é um importante aspecto, que decididamente contribui tanto para a confiabilidade dos experimentos realizados, como para a proteção da saúde humana e do meio ambiente. O processo de planejamento de tais edificações requer um esforço conjunto por parte dos pesquisadores, técnicos de laboratório, arquitetos e engenheiros, de modo a se estabelecerem no projeto arquitetônico padrões e normas que assegurem o cumprimento das condições de segurança espaciais e ambientais necessárias ao espaço físico a ser projetado [6].

As construções laboratoriais possuem um ciclo de vida, e com o tempo, as demandas da atividade original tornam-se obsoletas e se observa a dificuldade de se estabelecer o grau de requalificação a que devam ser submetidas estas edificações, quase sempre por terem intervenções fragmentadas com resultados insatisfatórios.

Melhado e Croitor [7] esclarecem que na elaboração do processo de projetos de empreendimentos de reabilitação é necessário o desenvolvimento de estudos de viabilidade detalhados, pois a análise técnica das condições da edificação será determinante para a viabilidade do empreendimento. Um dos grandes desafios para os projetistas é adequação às exigências legais e necessidades modernas de automação, sistemas prediais e flexibilidade de uso dos ambientes às limitações físicas dos edifícios antigos.

A reabilitação de edifícios é definida como sendo uma reforma gerenciada do partido, adaptando a construção às novas necessidades, ou até mesmo para a otimização das atividades desempenhadas, prolongando a vida útil da edificação e proporcionando a modernização de suas funcionalidades, com a possibilidade de redução do custo de utilização da edificação, através da implantação das tecnologias disponíveis [7] [8].

2 Análise Crítica do Desempenho da Edificação

Verificou-se no levantamento cadastral que o Pavilhão Carlos Chagas foi projetado em cinco pavimentos e um subsolo, construído na década de 40, pela arquiteta Olenka F. Greve, do Ministério de Educação e Saúde, para abrigar o Pavilhão da Patologia, com 3.014,66 m^2 de área construída, (cada pavimento 563,87 m^2, e o pavimento térreo e atual biotério, com 631,16 m^2, mais o subsolo de 128,00 m^2).

Em 2003, diagnosticou-se a necessidade de se realizar uma requalificação do prédio para que este pudesse estar adaptado e suprindo as necessidades atuais.

De acordo com Barrientos [8] e Ducap [9], conhecer o estágio de degradação de uma construção é muito importante para que a requalificação seja capaz de suportar os acréscimos de carga gerada por futuras mudanças no layout, com incorporação de automatismos,e novos partidos de atualização exeqüíveis.

No pavilhão foi identificado, que os ambientes laboratoriais não estavam de acordo com as normas e recomendações da biossegurança, pois as áreas destinadas aos escritórios estavam justapostas às áreas laboratoriais, devido à carência de barreiras de contenções secundárias de acesso às áreas laboratoriais. Os materiais empregados no revestimento dos ambientes laboratoriais originais a construção do prédio, eram caracterizados por paredes revestidas de azulejos cerâmicos e pintura acrílica, pisos de placas vinílicas e mobiliário laboratorial, composto por bancadas de alvenaria revestidas com azulejos. A infraestrutura física das instalações prediais de abastecimento apresentava-se em condições precárias, com instalações hidráulicas e elétricas aparentes, tubulações aéreas de esgoto expostas, nas áreas laboratoriais e redes de abastecimento de combate a incêndio em carga, mas desativadas. A edificação não dispunha de pavimentos técnicos e o sistema de condicionamento de ar era composto de aparelhos de janela e aparelhos *splits*, não sendo a solução adequada, devido à existência de insetários, que necessitavam de um controle constante de temperatura e umidade.

3 Processos de Requalificação do Espaço Laboratorial e da Infraestrutura Predial

O processo de transformação do Pavilhão Carlos Chagas foi favorecido pelas técnicas construtivas modernas, adotadas na época da concepção do prédio, pois a edificação tem pilares estruturais distribuídos nas paredes das fachadas, gerando um vão livre em toda a extensão dos pavimentos, proporcionando maior flexibilidade ao se redimensionar novas áreas internas e a renovação dos espaços.

Também, há de se denotar na proposta em foco, o que diz respeito ao processo de modernização e atualização do Pavilhão, visando torná-lo contemporâneo, prolongando a sua vida útil, seu conforto e funcionalidade, através da incorporação de avanços tecnológicos e da utilização de materiais de última geração. (conceito de *retrofit* de Qualharini), [10].

Assim, em razão dos ambientes laboratoriais não estarem de acordo com as normas e recomendações da biossegurança foram delimitadas as áreas administrativas e escritórios dos ambientes laboratoriais com barreiras físicas e sistemas de intertravamento de portas de acesso aos laboratórios e com o objetivo de impedir o acúmulo de equipamentos nos corredores de circulação reduziu-se a largura dos corredores, sem prejudicar o fluxo de pessoas e o transporte de equipamentos e foram projetados ao longo dos corredores chuveiros de emergência e lava-olhos. Em relação à compartimentação e revestimento dos ambientes laboratoriais utilizou-se o gesso acartonado, com a finalidade de otimizar a execução da obra, seguido de pintura acrílica em todas as paredes, e piso vinílico no piso (tipo manta), com cantoneiras de alumínio nos rodatetos, encontro de paredes e nos rodapés, visando facilitar a assepsia das salas, quanto ao mobiliário laboratorial foram desenvolvidos projetos específicos e confeccionadas bancadas revestidas de laminado melamínico/aço inoxidável, e estruturadas em perfis metálicos.Também, foram removidas todas as instalações de abastecimento predial existente, em função das novas redes e prumadas instaladas na fachada posterior da edificação. Seguindo as recomendações da *CIBio* da Fiocruz todas as instalações complementares foram embutidas nas paredes e construídas no térreo uma caixa resfriadora para receber a água das autoclaves das salas de lavagem, e uma caixa diluidora para produtos químicos, e reestruturada a rede de combate a incêndio, complementando-a com um sistema de controle de detecção de fumaça.

Na interface de melhoria das instalações, planejou-se a construção de uma central de utilidades na fachada posterior da edificação, composta de patamares técnicos com aberturas de vãos na fachada posterior do pavilhão, interligando as plataformas à edificação e possibilitando, a instalação de sistema de condicionamento de ar, com unidades de tratamento de ar e uma central de água gelada para atender aos laboratórios.

4 Considerações Finais

A ordenação e a distribuição dos ambientes laboratoriais sofreram transformações e foram reavaliados em determinados momentos em função dos novos paradigmas decorrentes da evolução científica. Constantes adequações e adaptações físicas nos laboratórios de pesquisas biomédicas sinalizam para a dinâmica destes ambientes e a existência de uma sistemática projetiva, que atenda a extensão espacial e temporal. Assim, para que este trabalho possa

gerar indicadores de soluções que poderão ser adotadas em outras edificações para o mesmo fim, lista-se a seguir a proposição crítica do estudo projetivo apresentado, para intervenções de requalificação de laboratórios de pesquisas biomédicas:

1 - Levantamento cadastral da edificação objetivando resgatar a evolução dos registros construtivos e projetos originais; **2** - Reuniões e entrevistas com os usuários para distinguir as características das atividades desenvolvidas nos laboratórios de pesquisas biomédicas; **3** - Consulta exaustiva das normatizações e manuais de biossegurança; **4** - Definição prévia dos procedimentos e metodologias de intervenção; **5** - Elaboração de um anteprojeto, avaliando o desempenho dos novos materiais nos ambientes laboratoriais e focando na sustentabilidade e futuras requalificações; **6** - Compatibilização dos projetos executivos e de manutenção preditiva, com enfoque na biossegurança.

5 Bibliografia

[1] Ministério da Saúde / Fundação Nacional de Saúde - FUNASA, *Biossegurança em Laboratórios Biomédicos e de Microbiologia*, Brasília, 2001. 4ª edição, 1999 – Publicações nº (CDC) 93-8399.

[2] Comissão Técnica de Biossegurança da Fiocruz (*CTBio*–FIOCRUZ), *Procedimentos para a Manipulação de Microorganismos Patogênicos e/ou Recombinantes na FIOCRUZ*. Rio de Janeiro, Min. da Saúde/FIOCRUZ, 2005.

[3] Vieira, V.M. & Lapa, R.; *Riscos em laboratório: prevenção e controle*, Cadernos de Estudos Avançados, v.3, nº1, Rio de Janeiro, RJ, 2006.

[4] Lima, N.T. & Marchand, M.H., *Louis Pasteur & Oswaldo Cruz*. Rio de Janeiro: Editora Fiocruz / BNP Paribas Brasil S.A., 2005.

[5] Schatzmayr, H.G.; *A Biossegurança e o Instituto Oswaldo Cruz*, Cadernos de Estudos Avançados, v.3, nº1, Rio de Janeiro, 2006.

[6] Simas, C.; Capítulo V, Biossegurança e Arquitetura In: Teixeira, P.; & Valle, S.(orgs) *Biossegurança: Uma abordagem multidisciplinar*. Rio de Janeiro: Editora Fiocruz, 2002, p.75-110.

[7] Melhado, S.B &. Croitor, E.P.N. *O papel do projeto e da coordenação de projetos na reabilitação de edifícios*: In: II Congresso Internacional na Recuperação, Manutenção e Restauração de Edifícios, Rio de Janeiro, 2006.

[8] Barrientos, M.I.G.G. & Qualharini, E.L., *Retrofit de Construções: Metodologia de Avaliação*. In: Conferência Latino-americana de Construção Sustentável: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, São Paulo, SP, 2004.

[9] Ducap, V.M.B.C.L., *Reflexões sobre a manutenção e reabilitação das instalações prediais*, Dissertação de Mestrado no PROAQ/FAU/UFRJ, Rio de Janeiro, 1999.

[10] Rocha, M.H.P. & Qualharini E.L.; *Modelagem gerencial de sistemas de manutenção predial em edificações históricas*. In: Construção 2001, Lisboa, 2001.



SESSÃO XVI

HIGROTÉRMICA

ADERÊNCIA DE REVESTIMENTOS CONTÍNUOS DE GESSO A CAMADAS CONTÍNUAS IMPERMEÁVEIS AO VAPOR

Carlos A. C. Mesquita*
camesquita@fa.utl.pt

Luis de Villanueva Domínguez†
luis.devillanueva@upm.es

Resumo

A comunicação que se apresenta tem por base um trabalho experimental que teve como objectivo testar a aderência de revestimentos contínuos de gesso pré-doseados, a camadas contínuas impermeáveis ao vapor.

Pretende-se desta forma o desenvolvimento de uma solução de revestimento interior contínuo que possa constituir barreira ao vapor e que seja higroscópico. Este "esquema" de revestimento permitirá reduzir os riscos de condensações intersticiais, sem que se perca a capacidade de regulação da humidade interior do revestimento da parede.

Os gessos aplicados foram da marca Sival (de aplicação manual) e as camadas contínuas impermeáveis ao vapor sobre as quais foi aplicado, foram o óleo de linhaça cozido, emulsão betuminosa simples, primário epoxídico, pintura epoxídica, argamassa epoxídica de enchimento e regularização, impermeabilização líquida e revestimento sintético de acabamento.

Nas camadas de pintura e primário epoxídicas foram também testadas soluções com camadas intermédias de argamassa de colagem de modo a melhorar a aderência do estuque pré-doseado.

As espessuras ou demãos das camadas impermeáveis ao vapor foram as mesmas que em ensaio anterior se mostraram constituir barreiras ao vapor, com excepção do revestimento sintético de acabamento, cuja espessura foi metade da necessária para obter esse desempenho.

Os resultados obtidos permitem considerar que existe a possibilidade de os revestimentos contínuos de gesso pré-doseados poderem ser aplicados sobre camadas contínuas impermeáveis ao vapor, cumprindo algumas das exigências europeias e nacionais relativas à aderência a essas camadas.

Palavras-chave: Aderência, Higroscópico, Impermeável ao Vapor.

* Assistente da FA-UTL. Doutorando ETSA Madrid.
† Catedrático ETSA Madrid-UPM.

1 Introdução

O trabalho experimental que tem por base a comunicação que se apresenta foi desenvolvido no âmbito da Tese de Doutoramento que está a ser realizada na Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid.

O título da tese é "REVESTIMIENTOS CONTINUOS INTERIORES DE VARIAS CAPAS, CON CARACTERÍSTICAS DE BARRERA DE VAPOR E HIGROSCOPICIDAD" e pretende desenvolver estudo de soluções de revestimento contínuo interiores, que sejam impermeáveis ao vapor e higroscópicas simultaneamente.

O objectivo da Tese de Doutoramento é identificar e caracterizar um conjunto de soluções de revestimento contínuo interior que possam contribuir para a redução ou eliminação dos riscos de humidades de condensação internas em paredes e tectos, da envolvente do edifício, mantendo a sua capacidade de regulação da humidade do ambiente.

O trabalho experimental que se apresenta vem na sequência de outros dois, anteriores, apresentados em comunicação no QIC 2006 e no Congresso da Construção 2007.

Este trabalho consiste no ensaio de aderência de revestimentos contínuos pré-doseados de gesso (estuques), de aplicação manual, a camadas contínuas que constituem barreira ao vapor. Estas barreiras ao vapor foram identificadas em ensaio experimental anterior e são constituídas por óleo de linhaça fervido, emulsão betuminosa simples, primário epoxídico, tinta de esmalte epoxídica, argamassa epoxídica de regularização, impermeabilização líquida e revestimento sintético de acabamento.

2 Objectivos

O objectivo do trabalho experimental foi verificar o comportamento destas soluções de revestimento, nomeadamente a aderência da camada estuque pré-doseado à camada contínua impermeável ao vapor, previamente aplicada sobre suporte de tijolo cerâmico.

Pretendeu-se desta forma verificar a possibilidade de caracterizar essa aderência e consequentemente o cumprimento das exigências regulamentares.

3 Material e métodos

Os materiais e métodos utilizados foram aqueles se passa a descrever.

3.1 Materiais

Para a realização dos ensaios foi utilizado um revestimento de gesso pré-doseado, de aplicação manual, da marca Sival. Este foi aplicado, com espessura de 2 cm, sobre as diferentes camadas contínuas impermeáveis ao vapor, previamente aplicadas sobre o tijolo cerâmico, nomeadamente:

— Óleo de linhaça cozido;

— Emulsão betuminosa simples (Shell);

— Primário epoxídico (Basf);

— Tinta de esmalte epoxídica (Matesica);

— Argamassa epoxídica de regularização (Goggetto);

— Impermeabilização líquida (Weber);

— Revestimento sintético de acabamento (Weber).

Foram também testadas soluções, sobre o primário e a tinta epoxídicos, com argamassas de colagem (dos mesmos fabricantes) como camada intermédia, de modo a aderir a estas e permitir melhor aderência do estuque pré-doseado.

As espessuras e demãos das camadas contínuas impermeáveis ao vapor foram as mesmas que em ensaio anterior tiveram esse desempenho, com excepção do revestimento sintético de acabamento que a espessura foi metade da necessária.

O ensaio foi realizado após 28 dias da aplicação dos estuques pré-doseados e vários meses após a aplicação das camadas impermeáveis ao vapor sobre tijolos cerâmicos.

3.2 Métodos e equipamentos

O método para testar a aderência dos estuques pré-doseados às camadas contínuas impermeáveis ao vapor foi realizado com base na Norma EN 13279-1 [1].

Após os 28 dias da aplicação do estuque pré-doseado foi então feito o ensaio que se realizou nas seguintes fases:

— Execução das carotes no estuque, com 5 cm de diâmetro;

— Colagem das pastilhas metálicas na superfície das carotes do estuque com cola epoxídica de dois componentes;

— Após 24 horas da referida colagem foi executado o ensaio de arrancamento, ligando as pastilhas metálicas a um dinamómetro que produz uma força provocando o desprendimento.

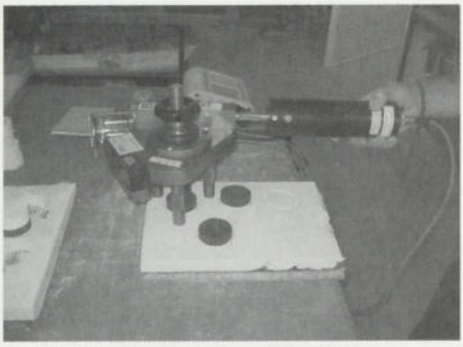


Figura 1: Dinamómetro testando a aderência do revestimento.

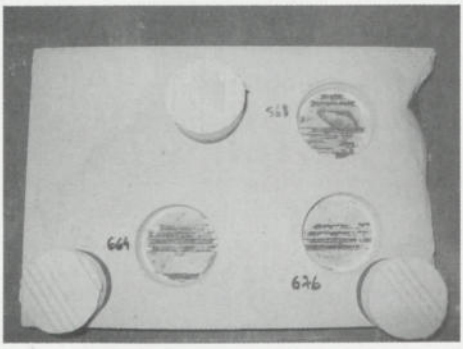


Figura 2: Carotes do revestimento removidas pelo ensaio.

Foram realizados três ensaios de arrancamento para cada solução de camada impermeável ao vapor, tendo sido registados os valores da força de cada arrancamento.

Nas camadas impermeáveis ao vapor constituídas por primários e tintas epoxídicas foram também realizados os ensaios com as camadas intermédias de argamassa de colagem. Nestas soluções a argamassa de colagem foi aplicada com pente, tendo a carotagem sido realizada até ao início da sua zona saliente. Quando as carotagens foram realizadas de modo a atravessar essa camada de argamassa de colagem, o revestimento de gesso desprendeu-se.

Nas restantes soluções, as carotagens foram também realizadas até ao início da camada impermeável, porque quando foram realizadas mais profundas, assistiu-se ao desprendimento do estuque.

4 Apresentação dos resultados

Os resultados obtidos no ensaio são os apresentados na tabela que se segue.

Tabela 1: Ensaio de aderência.

Estuque pré-doseado Aplicado sobre:	Área da pastilha (cm^2)	Força da rotura 1 (N)	Força da rotura 2 (N)	Força da rotura 3 (N)	Força de rotura média (N)	Tensão de rotura (N/cm^2)
Óleo de linhaça fervido	19,6	568	664	676	636	32,4
Emulsão betuminosa	19,6	152	276	549	(352,7)	(16,6)
Primário epoxídico (PR)	19,6	66	101	422	(196,3)	(10)
Argamassa de colagem sobre PR	19,6	345	440	448	411,3	21
Tinta de esmalte epoxídica (TI)	19,6	35	52	161	(82,7)	(4,2)
Argamassa de colagem sobre TI	19,6	401	459	631	497	25,3
Argamassa epoxídica de regulariz.	19,6	265	300	403	322,7	16,4
Impermeabilização líquida	19,6	321	384	478	394,3	20,1
Revestimento sint..de acaba.	19,6	99	111	123	111	5,7

Tabela 2: Cumprimento das exigências.

Estuque pré-doseado aplicado sobre:	Resistência ao arrancamento (MPa)	Tipo de Rotura	EN 13279-1 $\geq$ 0,1 MPa ou rotura coesiva pelo suporte	Exigências comple. LNEC $\geq$ 0,5 MPa ou rotura Coesiva [2]
Óleo de linhaça fervido	0,324	Adesiva	Sim	Não
Emulsão betuminosa	(0,166)	Adesiva	Sim	Não
Primário epoxídico (PR)	(0,10)	Adesiva	Sim	Não
Argamassa de colagem sobre PR	0,21	Adesiva	Sim	Não
Tinta de esmalte epoxídica (TI)	(0,042)	Adesiva	Não	Não
Argamassa de colagem sobre TI	0,253	Adesiva	Sim	Não
Argamassa epoxídica de regul.	0,164	Adesiva	Sim	Não
Impermeabilização líquida	0,200	Coesiva Adesiva	Sim	Não
Revestimento sint. de acaba.	0,056	Adesiva	Não	Não

5 Interpretação dos resultados

Em algumas das soluções não se pode considerar o valor médio da tensão de rotura uma vez que os valores das forças dos diferentes ensaios são muito

diferentes, nomeadamente para a emulsão betuminosa, para o primário epoxídico e para a tinta de esmalte epoxídica.

O revestimento sintético de acabamento apresentou valores das tensões de rotura muito baixos, enquanto que a argamassa epoxídica de regularização e a impermeabilização líquida apresentaram valores intermédios, embora nesta última as roturas tenham sido adesivas e coesivas. As soluções constituídas por primário epoxídico e tinta de esmalte epoxídica com camada intermédia de argamassa de colagem apresentaram valores superiores às soluções anteriores. Os valores mais elevados foram os obtidos na solução constituída por camada impermeável ao vapor constituída por óleo de linhaça cozido.

6 Conclusões

Podemos referir que existe a possibilidade de os revestimentos contínuos de gesso pré-doseados aplicados sobre camadas contínuas impermeáveis ao vapor, cumprirem as exigências regulamentares da EN 13279 relativas à aderência. No entanto, as exigências complementares do LNEC não foram cumpridas em qualquer das soluções de revestimento testadas.

Deverão ser testadas novas soluções que apresentem uma maior aderência e que podem passar por incorporar redes de fibra de vidro devidamente fixadas à camada impermeável ao vapor, ou camadas de vapor com relevo capaz de proporcionar essa aderência ou ainda a incorporação de aditivos de aderência aos estuques pré-doseados.

Neste trabalho considerou-se que a aderência das camadas impermeáveis ao vapor ao tijolo cerâmico não necessitam de ensaio de aderência por se tratarem de materiais de elevado poder de colagem.

7 Agradecimentos

Agradecesse aos fabricantes dos produtos o seu fornecimento para a realização das experimentações e o apoio técnico na selecção dos mesmos.

Agradecesse ao LNEC o ter disponibilizado os meios técnicos para a realização das experimentações.

8 Bibliografia

[1] European Committee of Standardization (CEN), *Gypsum Binders and Gypsum Plaster. Part 1: Definitions and Requirements.* Brussels: CEN, 2005.

[2] Veiga, M. R. *Regras Para a Concessão de Documentos de Aplicação a Revestimentos Pré-doseados de Gesso Para Paramentos Interiores de Paredes e Tectos*, Relatório 43/2008 – NRI. Lisboa: LNEC, 2008.

INÉRCIA HIGROSCÓPICA EM MUSEUS INSTALADOS EM EDIFÍCIOS ANTIGOS

Vasco Peixoto de Freitas*
vpfreita@fe.up.pt

Cláudia Ferreira†
cmiranda@fe.up.pt

Resumo

A preservação dos objectos de arte que constituem o acervo dos museus é profundamente influenciada pela flutuação da temperatura e, sobretudo, pela flutuação da humidade relativa. O controlo das condições higrotérmicas tem sido objecto de múltiplos estudos, desde o final do século XIX, tendo-se hoje a convicção de que mais importante do que o conforto do visitante é assegurar o "conforto da colecção" através da estabilidade da humidade relativa [1].

Em edifícios antigos, localizados em zonas de clima temperado/ mediterrânico, com forte inércia térmica, com reduzida ventilação face ao volume e número de visitantes, a inércia higroscópica sazonal pode contribuir de forma decisiva para assegurar as condições de conservação ideais, sem a utilização de sistemas activos, isto é, utilizando apenas o comportamento passivo dos edifícios.

Nesta comunicação apresenta-se: a caracterização do clima interior de um museu no Sul de Portugal; a análise das condições de conforto; o desenvolvimento do conceito de inércia higroscópica sazonal e princípios de determinação e mostram-se os resultados preliminares de um estudo experimental realizado na câmara de fluxo desenvolvido pelo Laboratório de Física das Construções da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, sobre o efeito da inércia higroscópica na redução dos picos da humidade relativa.

Palavras-chave: Inércia Higroscópica, Humidade Relativa, Museus.

1 Condições Higrotérmicas em Museus

A evolução da caracterização das condições higrométricas de referência em Museus, ao longo do tempo, permite verificar que no passado o conforto dos visitantes prevalecia sobre o "conforto" dos objectos expostos. Hoje, considera-se que a função principal de um museu é a preservação e conservação dos

* Prof. Catedrático da FEUP. Director do Laboratório de Física das Construções.
† Colaboradora do Laboratório de Física das Construções, Mestre em Reabilitação do Património Edificado.

objectos museológicos. Essa preservação depende mais das flutuações de humidade relativa do que da flutuação da temperatura. Sabe-se também que a cinética das flutuações da humidade relativa é da maior relevância na degradação dos objectos de arte.

Pode afirmar-se que a definição de condições higrométricas adequadas em museus (que dependem da colecção, do edifício e da sua envolvente, do sistema de ventilação, da ocupação e do clima exterior) é uma tarefa complexa que pode passar pela utilização de sistemas com funcionamento absolutamente contínuo ou pela utilização do comportamento passivo dos edifícios antigos, em climas temperados.

2 Caracterização do clima exterior e interior de um Museu no Sul de Portugal

Procedeu-se à monitorização das condições de temperatura e humidade relativa do exterior e de algumas salas no interior do Museu, em particular das salas 14 e 19 do Piso 0 (Figuras 1 e 2). Trata-se de um edifício com muito forte inércia térmica e com revestimentos interiores à base de cal, com pinturas muito permeáveis ao vapor também à base de cal.



Figura 1: Vista do Cláustro.

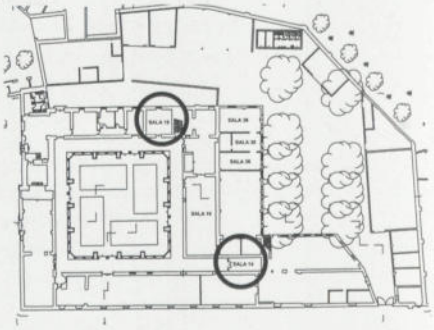


Figura 2: Planta do Edifício – Sala 14 e 19.

A temperatura exterior de Inverno é de 6,1 °C, com uma probabilidade acumulada de ocorrência de 1 % e de 31,8 °C no Verão com uma probabilidade de ocorrência acumulada de 99% [2]. Nas Figuras 3 e 4 mostram-se os resultados obtidos na sala 14 que funciona como reserva e na sala 19, cuja porta permanece aberta durante o período de abertura do museu. As medidas foram efectuadas de Janeiro a Dezembro de 2005.

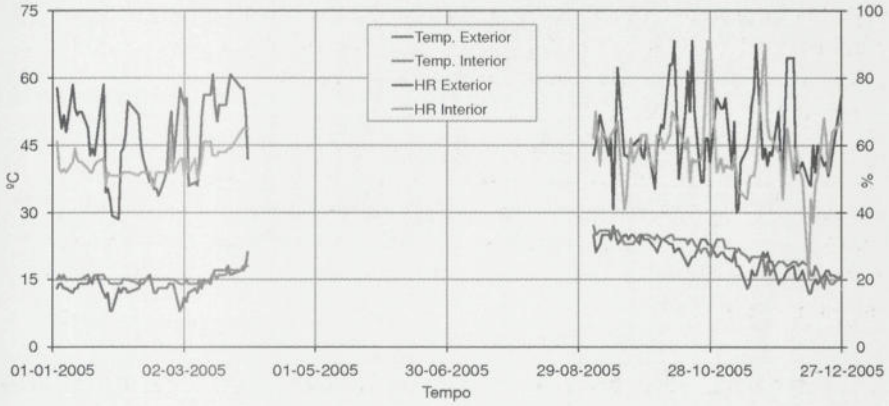


Figura 3: Temperatura e humidade relativa – Piso 0, Sala 14.

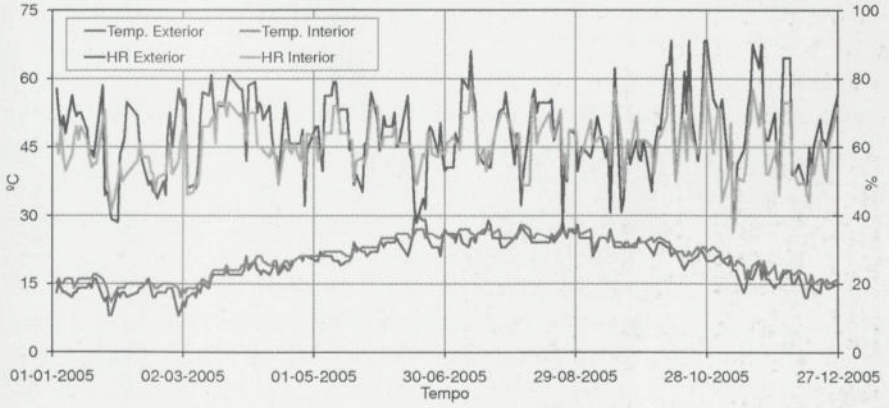


Figura 4: Temperatura e humidade relativa – Piso 0, Sala 19.

Era nossa convicção que a sala 14, com um número de visitantes muito reduzido, isto é, com quase nula produção de vapor e com um caudal de ventilação também baixo, resultante apenas da permeabilidade da envolvente, teria de manifestar o efeito do comportamento higroscópico sazonal. A inércia higroscópica sazonal – correspondente a um período de várias semanas – é a capacidade que cada compartimento, pela natureza dos materiais de revestimento e objectos que contém, tem de adsorver moléculas de água quando aumenta a humidade relativa e de restituir essa humidade à ambiência quando acontece o contrário. A avaliação desse fenómeno pode ser facilmente observada quando se compara a variação da pressão de vapor no interior e exterior de Janeiro a Abril de 2005 (Figura 5). Como se verifica na Figura 3 a temperatura interior é constante de Janeiro a Março (15°C).

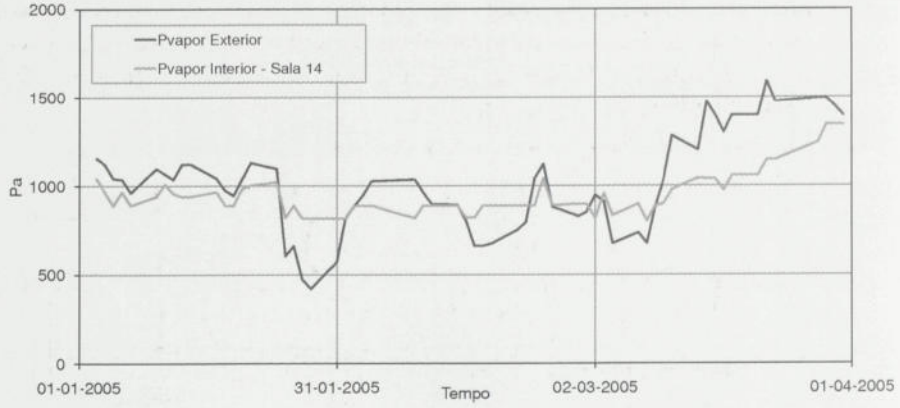


Figura 5: Comparação das pressões de vapor no interior e no exterior na Sala 14.

Pode concluir-se que a inércia higroscópica sazonal existe, mas é importante saber quantifica-la.

3 Estudo Experimental. Influência da Inércia Higroscópica Sazonal nas Condições Higrotérmicas Interiores.

O Laboratório de Física das Construções tem uma câmara de fluxo [3] desenvolvida com o objectivo de avaliar o efeito da inércia higoscópica na redução dos picos da humidade relativa interior. Na Figura 6 mostra-se o princípio de funcionamento, que consiste em colocar uma câmara de fluxo dentro de uma câmara climática. Na câmara de fluxo pode controlar-se a produção de vapor, a ventilação, a configuração dos materiais higroscópicos interiores, a admissão de ar do exterior, a temperatura e, simultaneamente, medir a temperatura e a humidade relativa do ar admitido e do interior da câmara de fluxo.

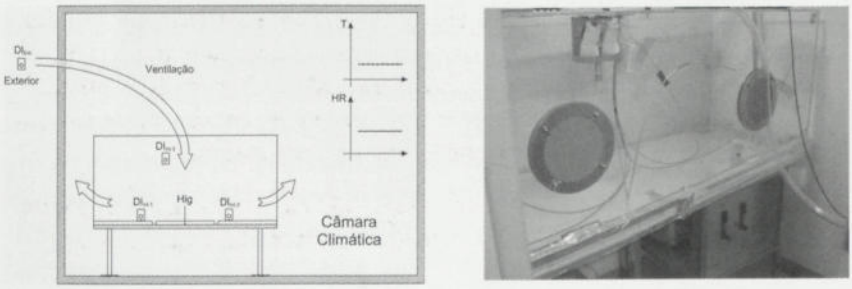


Figura 6: Representação esquemática e fotografia da infra-estrutura disponível no LFC.

Estudaram-se duas configurações A e B com e sem revestimentos higroscópicos respectivamente. Os resultados obtidos, para a configuração A, revelam o efeito estabilizador dos materiais higroscópios utilizados na flutuação da humidade relativa interior (Figura 7).

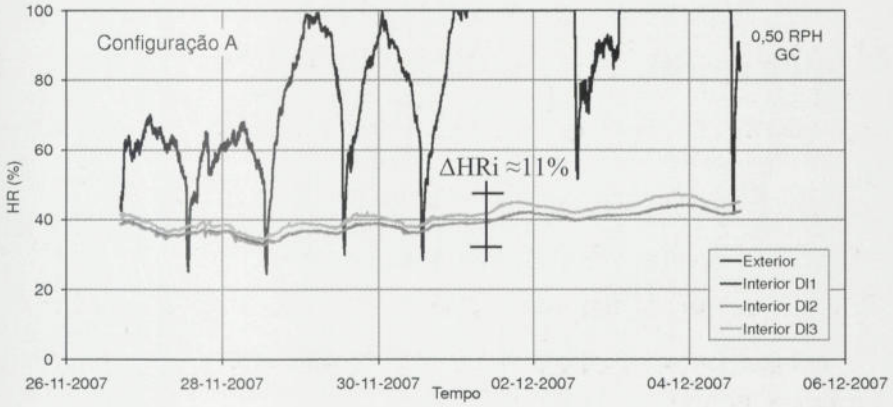


Figura 7: Variação da humidade relativa interior e exterior com materiais higroscópios.

Os resultados experimentais obtidos demonstram que a colocação ou não de materiais higroscópicos amortece os picos da humidade relativa. A diferença entre o valor máximo e mínimo é de mais de 20% para a câmara vazia (configuração B) e de apenas 11% para a configuração A [4].

4 Conclusões

As principais conclusões deste estudo são as seguintes:

— A estabilidade da humidade relativa, mais do que a temperatura, é decisiva para a preservação e conservação dos objectos de arte em museus;

— Em museus instalados em edifícios antigos, com inércia térmica muito forte e forte higroscopicidade dos materias de revestimento interior, é possível assegurar naturalmente a estabilidade da humidade relativa, em climas temperados/mediterrânicos, desde que a ocupação seja reduzida (produção de vapor e caudal de ventilação baixos);

— O Laboratório de Física das Construções dispõe de uma infra-estrutura que permite quantificar, a uma escala reduzida, o efeito da Inércia Higroscópica;

— Os resultados experimentais obtidos demonstram que a colocação ou não de materiais higroscópicos amortece os picos da humidade relativa.

A diferença entre o valor máximo e mínimo é de mais de 20% para a câmara vazia (configuração B) e de apenas 11% para a configuração A;

— A inércia higroscópica sazonal é um conceito a explorar no futuro, bem como, a metodologia simplificada para a quantificar.

5 Bibliografia

[1] Padfield, T. *Buffering of the indoor climate by porous walls: Gundsømagle Church, part 1*. Consultado em: http://www.natmus.dk/cons/tp/gsm/gsm1.htm (Parte 1, 2 e 3).

[2] Mendes, J. C. [et al.]. Temperatura de Projecto e número de graus-dias, IM / LNEC, ISBN 972-49-1646-4, Lisboa, 1995.

[3] Ramos, N and Freitas, V. P. *Evaluation strategy of finishing materials contribution to the hygroscopic inertia of a room.* Third International Building Physics Conference, pp. 543-548. Concordia University, Montreal, Canada, 27-31 August 2006.

[4] Ferreira, Cláudia. *A importância da inércia higroscópica em museus.* Dissertação de Mestrado. Mestrado em Reabilitação do Património Edificado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008.

AVALIAÇÃO DO RISCO DE OCORRÊNCIA DE CONDENSAÇÕES NAS FACHADAS DOS EDIFÍCIOS

Uma Abordagem Preliminar

Daniel Aelenei*
aelenei@fct.unl.pt

Fernando M. A. Henriques†
fh@fct.unl.pt

Resumo

Entre as diversas funções que as fachadas dos edifícios devem desempenhar, destaca-se a decorativa/arquitectónica. A existência de anomalias com origem na presença de água no caso das fachadas em alvenaria, podem, para além de manifestações estéticas desagradáveis, potenciar a degradação prematura da envolvente.

As principais fontes de humedecimento das fachadas são a condensação e a precipitação. Sendo a humidade um pré-requisito para o desenvolvimento biológico de microorganismos (algas, fungos), a identificação e a análise dos mecanismos de humidificação são perfeitamente justificados.

Este artigo tem como objectivo o estudo das condições atmosféricas favoráveis à ocorrência de condensações nas fachadas dos edifícios. O risco de ocorrência de condensações depende principalmente do balanço energético à superfície e da humidade relativa do ar ambiente. Como a temperatura superficial na face exterior das fachadas está sujeita a trocas de calor convectivas e radiativas, o presente estudo foi conduzido com o intuito de quantificar as condutâncias térmicas superficiais por convecção e por radiação para um conjunto largo de situações.

Palavras-chave: Condensações, Convecção, Radiação, Fachadas.

1 Introdução

A sensibilização para a necessidade de conservação e uso racional de energia com vista a diminuição dos impactes ambientais tem levado à concepção de edifícios cada vez mais energeticamente eficientes. O conceito de edifício

* Prof. Auxiliar, Dep. de Engenharia Civil, FCT - Universidade Nova de Lisboa.
† Professor Catedrático, Dep. de Engenharia Civil, FCT - Universidade Nova de Lisboa.

eficiente baseia-se, na maioria dos casos, em soluções construtivas de alto desempenho térmico nas envolventes. Para além de contribuir decisivamente para a diminuição das necessidades energéticas do edifício, esta estratégia, contudo, tem como contraponto a diminuição da temperatura superficial exterior da envolvente, facto que pode dar origem a ocorrência de condensações superficiais [1, 2]. A permanência de humidade no revestimento exterior pode levar, por sua vez, ao desenvolvimento e proliferação de microrganismos (fungos/bolores) e/ou vegetação parasitária (algas/líquenes), conferindo à fachada um aspecto desagradável. O aparecimento de manchas à superfície da fachada, para além de afectar os níveis visuais de qualidade, pode ainda contribuir para o agravamento das anomalias e consequente degradação do material de revestimento e perda de propriedades deste [3].

O presente trabalho tem como objectivo o estudo das condições atmosféricas favoráveis à ocorrência de condensações nas fachadas dos edifícios. Condensações superficiais ocorrem quando a temperatura superficial é inferior ou igual ao ponto de orvalho. Como o potencial de arrefecimento da envolvente através da dissipação de radiação infra-vermelha para o céu é máximo durante a noite e em condições de céu limpo, o risco de ocorrência de condensações foi conduzido com base nesses pressupostos.

2 Metodologia

O presente trabalho procura identificar as condições particulares que determinam a ocorrência de condensações superficiais na envolvente exterior de edifícios. Apesar do problema ser de carácter dinâmico, por simplicidade, o estudo foi desenvolvido assumindo os processo de transmissão de calor em regime estacionário e desprezando o transporte de humidade através das camadas constituintes da envolvente.

2.1 O balanço de energia na face exterior da fachada

Em condições estacionárias, o fluxo de calor conduzido através da envolvente é igual aos fluxos radiativos e convectivos que se verificam na face exterior. Tendo em conta que, em condições estacionárias os fluxos devidos à mudança de fase (condensação/evaporação) podem ser desprezados, o balanço de energia é dado pela expressão:

$$R_{net} - Q_{conv} = Q_{cond} \tag{1}$$

em que:

R_{net} — fluxo líquido de calor por radiação entre a envolvente e o ambiente exterior, em W/m^2;

Q_{conv} — fluxo de calor por convecção entre a envolvente e o ar ambiente exterior, em W/m^2;

Q_{cond} — fluxo de calor por condução através da envolvente, em W/m^2.

O fluxo líquido de calor por radiação é dado pela diferença entre o fluxo de calor emitido $R_w^{\uparrow}$, e o fluxo de calor absorvido $R_w^{\downarrow}$ pela superfície:

$$R_{net} = R_w^{\uparrow} - R_w^{\downarrow} \tag{2}$$

Atendendo que o fluxo emitido pode ser calculado pela Lei de Stefan-Boltzmann:

$$R_w^{\uparrow} = \varepsilon_w \sigma T_w^4 \tag{3}$$

e que o fluxo de calor absorvido é dado pela [1]:

$$R_w^{\downarrow} = \varepsilon_w \left[F_{ws} \overline{R}_{céu} + F_{wg} R_g + (1 - \varepsilon_g) F_{wg} \overline{R}_{céu} \right] \tag{4}$$

a expressão do cálculo do fluxo líquido de calor por radiação fica então:

$$R_{net} = R_w^{\uparrow} - R_w^{\downarrow} = \varepsilon_w \sigma \left[T_w^4 - (1 - F_{wg}) \overline{T}_{céu}^4 - F_{wg} \varepsilon_g T_g^4 - (1 - \varepsilon_g) F_{wg} \overline{T}_{céu}^4 \right] \tag{5}$$

em que:

ε_w — emissividade da envolvente exterior do edifício;

ε_g — emissividade do solo;

σ — constante de Stefan-Boltzmann ($5{,}67 \times 10^{-8}$ W/m^2 K^4);

T_w — temperatura superficial exterior da envolvente, em K;

$\overline{T}_{céu}$ — temperatura efectiva do céu que resulta da radiância ser dependente do ângulo zénite (*vd.* 2.2), em K;

T_g — temperatura da superfície do solo, em K;

F_{wg} — factor de forma entre a envolvente e o solo;

F_{ws} — factor de forma entre a envolvente e o céu (F_{ws} = 1- F_{wg});

$\overline{R}_{céu}$ — radiação (onda longa) emitida pelo céu que atinge a superfície da envolvente exterior;

R_g — radiação (onda longa) emitida pelo solo.

As trocas de calor por convecção são calculadas com recurso à Lei de Newton:

$$Q_{conv} = h_c (T_w - T_a) \tag{6}$$

enquanto que o fluxo de calor por condução pode ser avaliado com recurso à expressão:

$$Q_{cond} = (T_i - T_w)/(R + R_{si}) \tag{7}$$

em que:

h_c — condutância térmica superficial exterior por convecção, em W/m^2 K);
T_a — temperatura do ambiente exterior, em K;
T_i — temperatura do ambiente interior, em K;
R — resistência térmica da fachada, m^2 K/W;
R_{si} — resistência térmica superficial interior (0,13 m^2 K/W).

Depois da substituição de todas as quantidades na equação (1), o balanço energético na face exterior da fachada pode ser reescrito na seguinte forma:

$$\frac{T_i - T_w}{R + R_{si}} = \varepsilon_w \sigma \left[T_w^4 + \left(\frac{1}{2}\varepsilon_g - 1 \right) \overline{T}_{céu}^4 - \frac{1}{2}\varepsilon_g T_g^4 \right] - h_c (T_a - T_w) \tag{8}$$

Definindo o temperatura adimensional f como:

$$f = (T_i - T_w)/(T_a - T_w) \tag{9}$$

e o coeficiente de transmissão térmica superficial por radiação hr:

$$h_r = \frac{\varepsilon_w \sigma \left[T_w^4 + \left(\frac{1}{2}\varepsilon_g - 1 \right) \overline{T}_{céu}^4 - \frac{1}{2}\varepsilon_g T_g^4 \right]}{T_a - T_w} \tag{10}$$

obtém-se a forma final da equação do balanço energético na face exterior da fachada:

$$f = (h_r - h_c)(R + R_{si}) = h(R + R_{si}) \tag{11}$$

2.2 Radiância do céu limpo

Nos cálculos das perdas de calor por radiação, é conveniente utilizar "a temperatura efectiva do céu", $T_{céu}$. Esta temperatura fictícia é definida como a temperatura de um "corpo negro" que irradia o solo com um fluxo de calor radiativo igual ao atmosférico medido sob dadas condições atmosféricas:

$$R_{céu} = \varepsilon_{céu} \sigma T_a^4 = \sigma T_{céu}^4 \tag{12}$$

em que $\varepsilon_{céu}$ representa a emissividade global do céu. Os valores de emissividade do céu $\varepsilon_{céu}$ para condições atmosféricas de céu limpo típicas de Lisboa podem ser obtidos usando a correlação empírica [4]:

$$\varepsilon_{céu} = 0.828 + 0.0016 T_{dp} \tag{13}$$

em que T_{dp} é o ponto de orvalho (°C).

A equação (13), contudo, fornece o valor de cálculo da emissividade global (para um ângulo zénite $\theta = 0$), não sendo portanto válida para uso em aplicações que envolvem trocas de calor por radiação com superfícies verticais. Sen-

do a radiância do céu dependente do ângulo zénite θ, a equação (12) assume a seguinte forma:

$$\overline{R}_{céu} = \overline{\varepsilon}_{céu}\sigma T_a^4 = \sigma \overline{T}_{céu}^4 \tag{14}$$

em que $\overline{\varepsilon}_{céu}$ representa o valor médio da emissividade calculado para um ângulo zenite θ entre 0º e 90º:

$$\overline{\varepsilon}_{céu} = \frac{\int_{0^o}^{90^o} \varepsilon_{sky}(\Theta) sin^2\,\Theta\, d\Theta}{\int_{0^o}^{90^o} sin^2\,\Theta\, d\Theta} \tag{15}$$

com a emissividade direccional estimada pela expressão [5]:

$$\varepsilon_{céu}(\Theta) = 1 - (1 - \varepsilon_{céu})^{1/1.8cos\Theta} \tag{16}$$

3 Análise de ocorrência de condensações

Condensações superficiais ocorrem quando a temperatura superficial atinge valores inferiores ou iguais ao ponto de orvalho. A avaliação do risco de ocorrência de condensações passa, portanto, pela determinação da temperatura superficial exterior da envolvente T_w. Como se pode observar, a equação (8) é do tipo implícita que pode ser resolvida por métodos iterativos para um conjunto fixo de parâmetros.

Para avaliar as condições favoráveis da ocorrência de condensações superficiais, a equação (8) foi resolvida para um conjunto de cinco diferenças de temperaturas entre o ambiente interior e exterior ΔT = 6 ºC, 8 ºC, 10 ºC, 12 ºC e 14 ºC (com a temperatura do ambiente interior T_i fixada para 20ºC) e três valores de humidade relativa do ambiente exterior Hr = 80%, 85% e 90%. As emissividades do solo e da envolvente, ε_g e ε_w, foram ambas fixadas para 0,9 enquanto que a temperatura do solo foi assumida igual à temperatura do ar ambiente ($T_g = T_a$). As análises foram efectuadas para uma envolvente com um coeficiente de transmissão térmica U = 0,6 W/m^2 ºC.

Como a temperatura superficial exterior da envolvente T_w depende da conductância térmica superficial por convecção h_c, as iterações consistiram em determinar, para cada cenário, o valor limite de h_c a partir de qual T_w é inferior a T_{dp}.

Como se pode observar na Figura 1, onde estão apresentados os valores limites de h_r e h_c em função da temperatura adimensional f para todos os casos analisados, para evitar a ocorrência de condensações superficias, os valores dos respectivos coeficientes deverão ser superiores aos apresentados. A análise cuidada dos valores apresentados na Figura 1 permite ainda tirar outras con-

clusões. Para cada valor de humidade relativa, os valores de h_r são menos influenciados pelas alterações de f, o que indica que a convecção desempenha um papel fundamental no balanço energético à superfície exterior da envolvente. Por outro lado, quanto maior for a humidade relativa, maior a probabilidade de ocorrência de condensações.

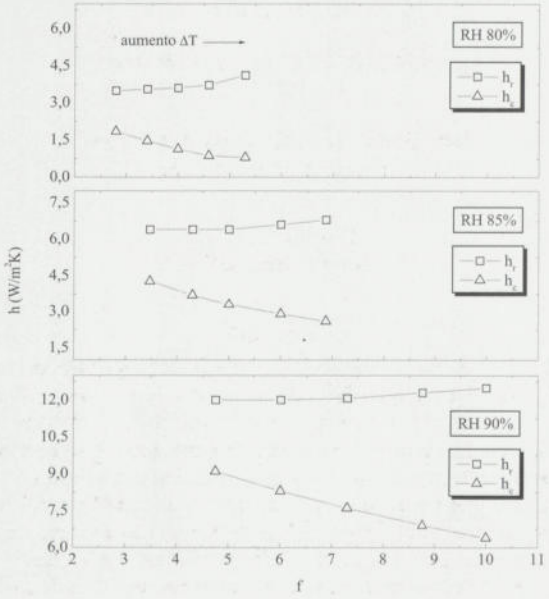


Figura 1: Variação dos valores limite de hr e hc em função do f.

4 Bibliografia

[1] Aelenei, D.; Henriques, F. H. *Analysis of the Condensation Risk on Exterior Surface of Building Envelopes*, Energy and Buildings 40, 2008: pp. 1866-1871.

[2] Henriques, F.A. *The Effects of Differential Thermal Insulation of Walls*, XXX IAHS World Congress on Housing, Coimbra, Setembro 2002.

[3] Flores, I. *et al. Técnicas de Diagnóstico e de Manutenção para Remoção de Manchas em Paredes Rebocadas*, 1º Congresso Nacional de Argamassas de Construção, Lisboa, Novembro 2005.

[4] Aelenei, D. *Passive Cooling Using Ventilated Radiant Panels*, Tese de Doutoramento, IST, 2004.

[5] Awanou, C. N. *Clear Sky Emissivity as a Function of the Zenith Direction*, Renewable Energy, 13 (2) 1998, pp. 227-248.

AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DOS NÍVEIS DE QUALIDADE DE AR INTERIOR EM QUARTOS DE DORMIR

Um Caso de Estudo

João Pedro Calçada Maia dos Santos*
joaosantos@netcabo.pt

Daniel Aelenei†
aelenei@fct.unl.pt

Resumo

A diminuição da permeabilidade ao ar das habitações pode levar a uma redução significativa da qualidade do ar interior, com consequências para a saúde dos ocupantes e/ou degradação dos elementos construtivos. Para evitar a ocorrência de tais situações, os níveis de ventilação das habitações devem ser tais que a concentração dos diversos poluentes existentes no local seja inferior aos mínimos regulamentares, o que nem sempre se verifica.

Este estudo teve como objectivo a determinação da taxa de renovação horária instantânea em quartos de dormir de duas habitações em edifícios multifamiliares de construção recente, situadas no concelho de Lisboa. A taxa de renovação horária foi determinada pelo método do gás traçador, utilizando o dióxido de carbono produzido pelo metabolismo dos ocupantes. A monitorização contínua da concentração interior de dióxido de carbono decorreu durante 45 dias, em Fevereiro e Março de 2008, recorrendo a detectores por absorção não-dispersiva de infravermelhos. Como base nos resultados obtidos, foram ainda avaliados os níveis de qualidade do ar interior dos compartimentos em análise.

Palavras-chave: Qualidade do ar interior, Gás traçador CO_2, Quarto de dormir.

1 Introdução

A qualidade de vida da população de uma comunidade é indissociável dos níveis de qualidade do ar que respira. Nas sociedades contemporâneas, em que grande parte do tempo é passado em espaços fechados, a qualidade do ar interior dos edifícios assume uma relevância especial.

* Aluno de Mestrado, Dep. de Engenharia Civil, FCT - Universidade Nova de Lisboa.
† Professor Auxiliar, Dep. de Engenharia Civil, FCT - Universidade Nova de Lisboa.

A respiração de um ar poluído tem comprovado efeitos negativos no bem-estar das pessoas, afectando-lhes a saúde, o conforto e a produtividade. A par da indispensável redução dos factores de poluição e renovação do ar com o oxigénio indispensável para o metabolismo dos ocupantes, uma ventilação eficaz é um factor determinante na manutenção de uma elevada qualidade do ar interior, não só para a segurança das pessoas, mas também para diminuir as anomalias associadas aos elementos construtivos decorrentes de condensações internas ou superficiais.

Nas últimas três décadas, o aumento dos níveis de vida da população portuguesa foi acompanhado por uma maior exigência de conforto habitacional, nomeadamente de protecção contra o ruído e eliminação de fluxos de ar não controlados. Por outro lado, a implementação de medidas de conservação de energia e a adopção de novas práticas construtivas, de que são exemplo a impermeabilização das caixas de estore e a utilização de caixilharias de alto desempenho, pode conduzir a uma redução significativa da qualidade do ar interior nos edifícios residenciais, com as consequências negativas que lhe estão associadas. Para evitar a ocorrência dessas situações, os níveis de ventilação devem ser tais que os valores da concentração dos diversos poluentes existentes no local sejam inferiores aos valores mínimos de referência.

A legislação Portuguesa com referências específicas à ventilação natural compreende o RCCTE [1], o RSECE [2], e a Norma Portuguesa NP 1037-1 [3]. O RCCTE estabelece para as fracções autónomas dos edifícios de habitação uma taxa de ventilação mínima de 0,6 h-1, ao passo que o RSECE estipula um valor de caudal mínimo de renovação do ar interior para edifícios residenciais de 30m3/(h. ocupante). A NP 1037-1 por outro lado, recomenda a instalação na fachada de cada compartimento principal de dispositivos de entrada de ar. Visto essa recomendação da norma não ter sido aplicada na generalidade dos edifícios [4], pretende-se conhecer os valores efectivos das taxas de renovação de ar das habitações, em particular dos quartos de dormir onde as pessoas passam grande parte do tempo, à luz da regulamentação em vigor.

2 Metodologia

Na determinação da taxa de ventilação experimental foi usado o método do gás traçador, utilizando o dióxido de carbono produzido pelos ocupantes. A determinação das taxas de ventilação foi realizada com recurso à "técnica do decaimento" e à "técnica do estado estacionário".

Na aplicação da técnica do decaimento foram seleccionados os intervalos de tempo que se iniciavam com a saída definitiva do(s) ocupante(s) dos quartos de dormir, sendo o número de renovações horárias, Rph, calculado com recurso a expressão:

$$R_{ph} \times t = ln\left(\frac{c(t) - c_{ext}}{c_0 - c_{ext}}\right) \quad (1)$$

em que:

$c(t)$ — concentração volúmica do gás, em ppm;

c_{ext} — concentração volúmica do gás traçador no exterior, em ppm;

c_0 — concentração volúmica do gás no instante inicial, em ppm;

t — tempo, em h.

A técnica do estado estacionário foi aplicada aos períodos de ocupação contínua dos quartos, em que durante o sono se verificava a ocorrência efectiva de uma situação de equilíbrio, com uma variação inferior a 5% da concentração de CO_2 durante pelo menos uma hora. No cálculo, usou-se a expressão:

$$R_{ph} = \frac{q_{CO_2} \times 10^6 \times 3600}{(\overline{c}_{eq} - c_{ext}) \times V} \quad (2)$$

em que:

q_{CO2} — caudal volúmico de emissão de CO_2, em $m^3.s^{-1}$;

$\overline{c}_{eq}$ — concentração média do CO_2 no estado estacionário, em ppm;

c_{ext} — concentração volúmica do gás traçador no exterior, em ppm.

V — volume efectivo do espaço, em m^3.

3 Campanha de medições

Para a realização deste estudo foram seleccionadas duas habitações em edifícios multifamiliares na cidade de Lisboa, cujos ocupantes dos quartos de dormir apresentassem hábitos diários relativamente bem definidos. Um dos apartamentos, de tipologia T3, situa-se na freguesia de Benfica, e é representativo da construção da década de noventa do século vinte. O quarto de dormir em estudo, que passará a ser designado por Quarto B, tem uma vertente orientada a Sudoeste e outra a Noroeste e é ocupado regularmente por dois jovens adultos do sexo masculino. O outro apartamento, de tipologia T4, fica situado em Telheiras, na freguesia do Lumiar, tendo a sua construção sido concluída em 2002. O quarto de dormir seleccionado, designado como Quarto T, tem as vertentes orientadas a Norte e a Nascente e é ocupado por um adulto do sexo masculino.

A campanha de medições, que decorreu entre os dias 14 de Fevereiro e 31 de Março de 2008, envolveu a aquisição de dados de concentração de CO_2 interior e temperaturas e humidades relativas exterior e interior.

4 Resultados

Com o objectivo de exemplificar a análise da variação da concentração de CO_2 ao longo do tempo, apresenta-se, na Figura 1, o conjunto de valores correspondentes a um período de vinte e quatro horas do Quarto T que se considera representativo da rotina diária.

A observação cuidada dos registos gráficos da evolução da concentração de CO_2 (ppm) obtidos permitiu a identificação dos dados elegíveis para aplicação da "técnica do decaimento" e da "técnica do estado estacionário". De acordo com o procedimento indicado para a técnica do decaimento [5], o intervalo de tempo em que devem ser efectuadas as medições não deve ser inferior à "constante de tempo nominal", τ_n, definida como o inverso da taxa de renovação horária. Como os cálculos preliminares apontavam valores da taxa nominal entre 0,25 e 0,4 h^{-1}, os valores de "constante de tempo nominal" correspondentes são entre 4 h e 2,5 h.

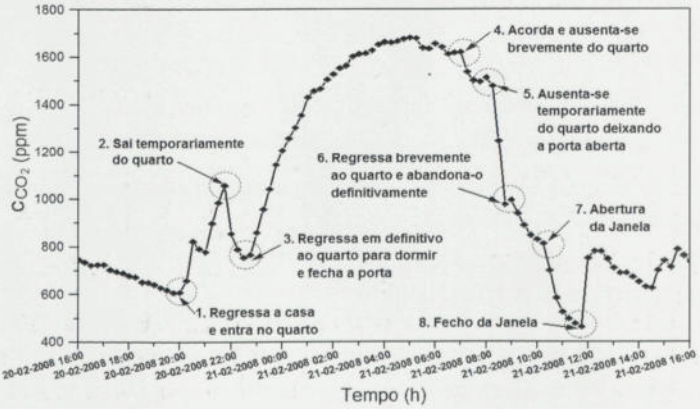


Figura 1: Variação da concentração de CO_2 ao longo do tempo (Quarto T).

A verificação da ocorrência de estado estacionário em cada um dos dias foi feita com base em dois critérios [6]: a) o intervalo de tempo de equilíbrio deve corresponder a um mínimo de 5 valores registados com intervalos de 15 minutos e (b) a diferença entre as concentrações registadas durante uma hora, Δc_{eq}, não ser superior ao valor determinado pela equação:

$$\Delta c_{eq} = \frac{180 \times 10^6 \times q_{CO_2}}{V} \tag{3}$$

Os resultados obtidos em termos de taxa de renovação horária para os dois compartimentos em análise com base nos dados seleccionados são sintetizados na Tabela 1.

Tabela 1: Síntese dos valores de R_{ph} calculados.

	Técnica	Período de análise	Valor	R_{ph} (h^{-1})
Quarto T	**Decaimento**	6 dias	Mínimo e máximo	0,2 - 0,3
			Médio	**0,3**
	Estado estacionário	10 dias	Mínimo e máximo	0,3 - 0,6
			Médio	**0,4**
Quarto B	**Decaimento**‡	7 dias	Mínimo e máximo	0,4 - 0,8
			Médio	**0,8**
	Estado estacionário§	2 dias	-	**0,2**

Como a concentração de CO_2 pode ser utilizada como indicador da qualidade do ar interior (QAI) para avaliar os níveis de conforto quanto aos odores dos bioefluentes e de outros poluentes cuja taxa de produção seja também proporcional ao nível de ocupação do espaço, apresentam-se seguidamente os valores máximos da concentração interior de CO_2 registados ao longo da semana de 1 a 7 de Março de 2008.

Tabela 2: Valores máximos da concentração de CO_2 (ppm) registados no período 1 a 7 de Março de 2008.

	1 Mar Sábado	2 Mar Domingo	3 Mar Segunda-Feira	4 Mar Terça-Feira	5 Mar Quarta-feira	6 Mar Quinta-feira	7 Mar Sexta-feira
Quarto T	1599	2121	1371	1436	1051	1234	1392
Quarto B	1511	1255	1681	1334	1559	1422	1342

Verifica-se, com base nos valores apresentados na Tabela 1 e Tabela 2, que os valores de R_{ph} determinados em ambos os compartimentos são, em média, inferiores ao valor mínimo de referência de 0,6 h^{-1}, a concentração de CO_2 registada atingindo valores máximos superiores a 1000 ppm (valor definido pelo RSECE como valor máximo de referência para o interior dos edifícios).

Com o intuito de verificar a eficiência dos requisitos regulamentares em relação aos compartimentos em análise, procedeu-se a comparação dos valores experimentais com valores "teóricos" de CO_2 obtidos usando a técnica da emissão constante. Para tal, os valores da variação da concentração de dióxido de carbono medido em 10 dias diferentes no Quarto T foram comparados graficamente com os valores correspondentes que seriam obtidos se a taxa de renovação de ar horária fosse fixada para o valor regulamentar (Figura 2).

A análise da Figura 2 permite concluir que um caudal de ventilação equivalente a um valor de R_{ph} igual ou superior a 0,6 h^{-1}, garanta os níveis necessários de qualidade do ar interior do Quarto T.

‡ Valores correspondentes a medições com a porta aberta/entreaberta.

§ Valores estimados com recurso a técnica de emissão constante – porta fechada.

Na interpretação dos resultados deste estudo é importante salientar que a taxa de renovação do ar dos compartimentos naturalmente ventilados pode sofrer grandes variações diárias, não sendo muito correcto admitir a generalização do valor de R_{ph} determinado num intervalo de tempo sob condições definidas a outros períodos de tempo, ainda que semelhantes.

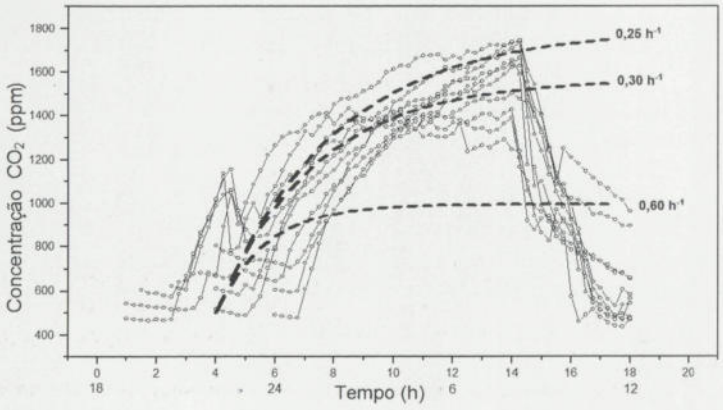


Figura 2: Valores experimentais vs. valores "teóricos" de CO_2 - Quarto T.

5 Bibliografia

[1] Regulamento das características de comportamento térmico de edifícios. (RCCTE). Decreto-Lei nº80/2006 de 4 de Abril.

[2] Norma Portuguesa 1037-1. Ventilação e Evacuação dos Produtos da Combustão dos Locais com Aparelhos a Gás, Parte 1: Edifícios de Habitação. Ventilação Natural. Instituto Português da Qualidade, 2001.

[3] Regulamento dos sistemas energéticos de climatização em edifícios (RSECE). Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril.

[4] Freitas, V. P. et al. Sistemas de ventilação Natural/Mistos em edifícios de habitação – Implicações construtivas. Revista Climatização, 52, 2007.

[5] ASTM. Standard Test Method for Determining Air Change in a Single Zone by Means of a Tracer Gas Dilution, E 741-00. American Society for Testing Materials. West Conshohocken, USA, 2000.

[6] Persily, A.K. Evaluating building IAQ and ventilation with indoor carbon dioxide. ASHRAE Transactions, vol. 103, pt. 2, 4072. Atlanta, 1997.

HUMIDADES EM CONSTRUÇÕES HISTÓRICAS
Levantamento de Patologias

David Filipe Faria Branco*
David_Branco@sapo.pt

M. Isabel M. Torres†
itorres@dec.uc.pt

Resumo

A reabilitação das construções históricas no nosso País tem tido nos últimos anos um grande desenvolvimento. A diversidade de patologias observadas nas construções históricas obriga, cada vez mais, a uma intervenção especializada.

Actualmente tem-se verificado um rápido desenvolvimento de novos materiais e novas técnicas de construção que se afastam da prática tradicional, bem como descobertas científicas que colocam à disposição novas metodologias a todos os intervenientes na defesa do património. Esta realidade introduz aspectos decisivos na divisão entre a arte de construção e a ciência da conservação e restauro, que salientam a dimensão e carácter próprios da conservação dos centros históricos e que demonstram a dificuldade de respeitar o património sem formação e conhecimento específicos.

Para que as intervenções possam ser planeadas de uma forma sistematizada e, dentro do possível mais simplificada, é importante termos um conhecimento global do estado de conservação do nosso património e ainda sabermos quais as patologias mais recorrentes.

Nesta comunicação pretende-se apresentar um levantamento das patologias existentes em construções históricas na zona de Coimbra e de Santa Maria da Feira. A partir dos dados obtidos procurou sistematizar-se os resultados e tirar algumas conclusões sobre a recorrência de algumas patologias, procurando identificar razões para esse facto e assim procurar simplificar o processo de futuras intervenções.

Palavras-chave: Construções Históricas, Patologias, Humidade.

1 Introdução

Em Portugal, como noutros países, começou a surgir a necessidade de proteger as construções históricas.

* Engenheiro Civil.
† Professora Auxiliar, FCTUC, Coimbra, Portugal.

Embora muitas das construções históricas existentes no nosso País tenham já sido alvo de obras de reabilitação com o intuito de anular ou pelo menos minimizar o efeito de algumas anomalias face à presença de humidade, tal não tem sido conseguido de forma permanente ou totalmente eficaz [1] e [2].

A presente comunicação foca esta constatação através do levantamento de patologias existentes nas construções históricas de Coimbra e Santa Maria da Feira já intervencionadas.

O levantamento foi feito, fotografando-se, anotando-se e descrevendo-se as patologias observadas. Após o mesmo, procedeu-se à análise dos dados, de forma a poder retirar algumas conclusões acerca da ocorrência ou recorrência das mesmas.

Este levantamento feito para cada construção histórica, nomeadamente nas zonas de – Coimbra e Santa Maria da Feira, exigiu por um lado, o prévio estudo documental para assimilação da problemática das patologias, nomeadamente as provocadas pela humidade e por outro lado, o diálogo com as entidades e os responsáveis envolvidos nas obras de reabilitação para melhor compreensão dos métodos aplicados nas intervenções.

2 Análise e Sistematização dos Resultados Obtidos

A diversidade de patologias observadas nas construções históricas obriga, cada vez mais, a uma intervenção especializada. Para efeitos de levantamento, procurou-se identificar as principais patologias em construções históricas, nomeadamente:

— **Patologias no material pétreo**: A perda de material pétreo pode provocar a infiltração de águas pluviais, bem como contribuir para o depósito de terras e poeiras. A ausência de material é inestética e pode constituir um grave problema estrutural e é um indício importante sobre as alterações que danificaram o edifício ao longo dos tempos;

— **Rebocos**: Podemos dizer que as anomalias mais correntes nos rebocos são: humidade, erosão, perda de aderência, eflorescências e criptoeflorescências, biodegradação, fendilhação, fissuração, sujidade e perda de coesão. Como se pode observar, são muitas as patologias associadas aos fenómenos enumerados;

— **Madeiras**: Os efeitos negativos na madeira podem ser directos, pelas variações dimensionais volumétricas e de peso, bem como indirectos, pela presença de fungos e insectos que deterioram a sua estrutura;

— **Alumínios/ferros**: o processo de corrosão que ocorre genericamente nos metais, é provavelmente o fenómeno de degradação mais frequente e que pode acarretar consequências mais graves;

— **Humidade em paredes**: A humidade em paredes é um dos problemas mais comuns na construção e causa frequente de diversas manifestações patológicas nos edifícios. A presença de humidade nas paredes arrasta consigo, não só a degradação dos revestimentos, o aspecto desagradável que advém da consequente presença de limos e musgos nas paredes, como também um ambiente demasiado húmido e bastante prejudicial à saúde.

A Tabela 1, ilustra de forma resumida o levantamento das principais manifestações patológicas observadas, consoante o grau de gravidade encontrado para cada patologia nas 7 construções históricas vistoriadas. Através da observação directa das actuais patologias de cada edifício, o grau de gravidade encontrado para as diversas patologias foi definido da seguinte forma:

— **Patologias pouco graves**: presença de pequenas anomalias tais como, pequenas manchas de humidades, fissuras localizadas com pequena espessura (< 0,1 mm), reduzidos ou raros fenómenos de desagregação granular e perda de coesão nos materiais, apresentação de pequenas sujidades superficiais (poeiras). Representa-se este grau de patologias pelo número 1;

— **Patologias graves**: Este tipo de patologias situa-se entre as pouco graves e as muito graves, não chegando como tal a visualizarem-se os intensos fenómenos descritos nas patologias muito graves. Este grau de patologia representa-se pelo número 2;

— **Patologias muito graves**: Abundante presença de água em estado liquido e/ou vapor, verificando-se escorrências, grandes manchas de humidade, quantidade elevada de eflorescências salinas e intensos fenómenos de colonização biológica. Existência de fendas com grande espessura (> 10 mm), elevadas perdas de material de área/volume considerável devido aos diversos fenómenos de desagregação granular e perda de coesão. Apresentação de grandes sujidades superficiais (ex. poeiras, fumo de vela, grafittis). Representa-se este grau de patologias pelo número 3.

Após análise da Tabela 1 podemos observar que dos 105 números listados, 40 são considerados muito graves, 32 graves e os restantes pouco graves.

No entanto, fazendo uma análise individual para cada construção histórica, verifica-se que os problemas considerados como muito graves, graves e pouco graves não estão na mesma proporção. Como se pode verificar na Figura 1, as patologias muito graves encontram-se sobretudo no Mosteiro de Santa Cruz, Lorvão e Sé Velha, enquanto que as pouco graves se encontram principalmente na Igreja de São Tiago, Sé Nova, Misericórdia e na Capela da Laje.

Tabela 1: Síntese do grau de gravidade encontrado para cada patologia nas 7 construções históricas escolhidas.

Descrição dos problemas encontrados	Monumentos						
	Mosteiro Santa Cruz	Mosteiro Lorvão	Sé Nova	Sé Velha	Capela da Laje	Igreja São Tiago	Igreja Misericórdia
Colonização biológica (fungos, líquenes, musgos.)	3	3	1	3	3	2	2
Corrosão ou perda de função de alguns elementos metálicos	2	1	1	2	1	1	1
Descoloração da pintura	3	2	3	2	2	1	2
Destruição física dos materiais por impacto físico	2	2	1	1	1	1	2
Fenómenos de desagregação granular e perda de coesão	3	3	1	3	2	1	1
Fenómenos de fissuração / fendilhação	3	3	1	3	3	1	2
Humidade ascensional	3	3	1	3	2	2	2
Humidade de condensação	3	3	1	3	2	1	2
Humidade de precipitação	3	3	3	3	2	2	3
Humidade devidas a causas fortuitas (rotura de canalizações, telhas quebradas, etc.)	3	3	1	3	2	1	1
Humidade devido a fenómenos de higroscopicidade	3	3	2	3	2	1	1
Inexistência ou deficiente sistema de recolha de águas pluviais	3	3	2	3	2	3	1
Juntas do pavimento com perda parcial ou total do material	3	3	2	3	1	1	2
Madeiras ressequidas e desidratadas	3	1	2	1	1	1	2
Sujidades superficiais (poeiras) associadas aos elementos ornamentais	3	2	3	2	1	1	2

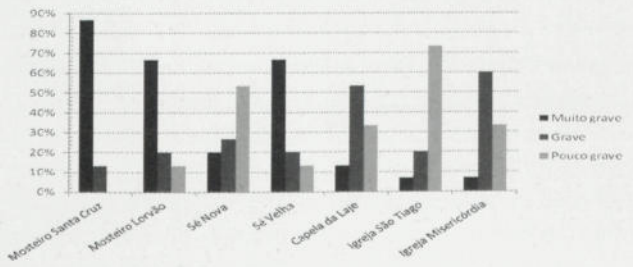


Figura 1: Gravidade das patologias encontradas para cada construção histórica.

Com o intuito de saber quais as percentagens das formas de manifestação de humidade em paredes mais patentes, elaborou-se o seguinte gráfico:

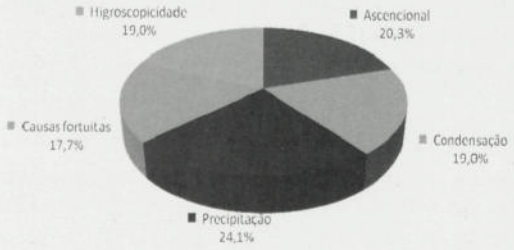


Figura 2: Percentagem de cada forma de manifestação de humidade em paredes.

Da análise do gráfico anterior podemos concluir que das seis manifestações de humidade em paredes, é a humidade de precipitação com 24,1%, a que conduz a maiores problemas de humidade nas sete construções, seguindo-se a humidade ascensional com 20,3%. A humidade devida a causas fortuitas, com 17,7% é a que menos problemas provoca, como podemos constatar através do mesmo gráfico.

3 Conclusões

A água, de facto é o agente responsável pela maioria das situações patológicas que afectam a generalidade das nossas construções históricas.

Dentro dos problemas mais frequentes, a humidade nas paredes é a que ocasiona maiores condições de insalubridade nos edifícios, além de contribuir para uma acelerada deterioração dos materiais.

Do estudo das construções históricas escolhidas podem-se tirar algumas conclusões, nomeadamente as que justificam o facto das construções na região de Coimbra se encontrarem mais degradadas que as de Santa Maria da feira, sendo elas:

— A diferença de idades das construções em Coimbra (séc. IX a séc. XV) e de Santa Maria da Feira (séc. XVI a séc. XVIII) é um factor a ter em conta na deterioração e degradação dos elementos constituintes nos monumentos em questão, pelos materiais e métodos construtivos usados;

— As características das rochas e pedras presentes na região de Coimbra, como a Dolomia de Coimbra e calcário de Ançã, mais vulneráveis face as características das rochas que prevalecem na região norte, como o granito. De facto os calcários são rochas muito mais porosas e com coeficientes de absorção de água muito mais elevados que os granitos;

— Intervenções mal sucedidas que contribuíram para o estado de degradação dos monumentos, como foi o caso do Mosteiro de Lorvão [3], em que a substituição da estrutura original do piso superior em madeira do claustro por lajes de betão, conduziu ao aumento de carga a que o Claustro estava sujeito inicialmente, bem como à degradação dos elementos pétreos existentes, pela contaminação dos sais de cimento utilizado.

Constata-se que a maioria das reabilitações foram feitas com recurso a argamassas de cimento, que hoje em dia se sabe, são responsáveis por algumas das patologias não estruturais que não se verificavam antes da sua utilização [4] e [5].

Por outro lado, a infiltração de águas pela cobertura, foi uma das razões (se não a principal) da origem das anomalias observadas. Esta patologia continuou a verificar-se mesmo após a reabilitação, pois nem sempre a cobertura foi tratada de forma eficaz para a resolução do problema.

Este estudo não sendo exaustivo, nem universal (uma vez que os objectos estudados são representativos de diferentes épocas com diferentes utilizações e estilos de construção), demonstra no entanto, que nem sempre se reabilita da melhor forma.

4 Bibliografia

[1] Torres, M. I. M. *Humidade Ascensional em Paredes de Construções Históricas*. Tese de Doutoramento, Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra, Coimbra, 2004.

[2] Veiga, Mª do R.; Aguiar, J.; Silva, A. S. ; Carvalho, F. *Conservação e Renovação de Revestimentos de Paredes de Edifícios Antigos*. Lisboa: LNEC, 2004.

[3] Ex-IPPAR. *Recuperação e Valorização do Mosteiro de Lorvão. Diagnóstico do estado de conservação dos elementos pétreos e revestimentos do monumento e proposta de intervenção*, Coimbra, 2005.

[4] Martins, S. M. C. *Patologia e Reabilitação dos Revestimentos de Fachada, o Caso da Alta de Coimbra*. Tese de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra, 2008.

[5] Gonçalves, T. D. *Patologia e Reabilitação das Construções*. Relatório 55/03 – NCMC, Lisboa: LNEC, 2003.

[6] Branco, D. *Humidades em Construções Históricas*. Tese de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra, 2008.

INFLUÊNCIA DA CONFIGURAÇÃO DE UM SISTEMA DE VENTILAÇÃO NATURAL NO CAUDAL DE EXTRACÇÃO DE UMA INSTALAÇÃO SANITÁRIA

Manuel Pinto*
mpinto@estv.ipv.pt

Vasco Peixoto de Freitas†
vpfreita@fe.up.pt

Resumo

Devido à variação de factores naturais, tais como a velocidade do vento e o efeito de chaminé, os sistemas de ventilação natural nem sempre permitem assegurar as taxas de renovação horária ideais.

Este artigo apresenta alguns resultados de uma campanha experimental realizada com o objectivo de caracterizar o desempenho de um sistema de ventilação natural de uma instalação sanitária, o qual se encontra implementado num conjunto habitacional de 94 fogos na área do grande Porto.

Os ensaios apresentados tiveram como objectivo avaliar a influência do aquecimento ambiente, do isolamento térmico da conduta, da grelha de extracção e do ventilador estático nos caudais extraídos, em condições de ventilação natural na cozinha e portas interiores abertas.

Conclui-se dos ensaios que a optimização da configuração do sistema de ventilação permite obter caudais médios razoáveis, aproximadamente 2 *RPH*.

Palavras-chave: Ventilação, Habitação, Renovações Horárias *(RPH)*, Instalação Sanitária.

1 Introdução

As recomendações do Laboratório Nacional de Engenharia Civil [1] e da normalização existente para a ventilação natural de edifícios de habitação [2] estipulam taxas médias de admissão de uma renovação por hora (*RPH*) nos compartimentos principais (quartos e salas) e quatro renovações por hora de extracção nos compartimentos de serviço (cozinhas e instalações sanitárias). A

* Prof. Adjunto da Escola Superior de Tecnologia de Viseu, Departamento de Engenharia Civil.

† Prof. Catedrático da FEUP. Director do Laboratório de Física das Construções.

recente regulamentação portuguesa na área da térmica de edifícios [3] define uma renovação horária mínima global de 0,6 *RPH*.

Admite-se que grande parte dos edifícios de habitação recentemente construídos não cumpra as taxas de renovação apresentadas. Sendo assim, levou-se a efeito uma campanha experimental realizada com o objectivo de caracterizar o desempenho de um sistema de ventilação natural de uma instalação sanitária, o qual se encontra implementado num conjunto habitacional de 94 fogos na área do grande Porto.

Os ensaios apresentados tiveram como objectivo avaliar a influência do aquecimento ambiente, do isolamento térmico da conduta, da grelha de extracção e do ventilador estático nos caudais extraídos (registo simultâneo em duas condutas, normal e modificada), em condições de ventilação natural na cozinha e portas interiores abertas [4].

2 Descrição do edifício e do sistema de ventilação ensaiado

O apartamento seleccionado (R/C), do tipo T2, insere-se num edifício multifamiliar de 4 pisos localizado em Areias - Gondomar. O apartamento está equipado com um sistema exclusivamente de ventilação natural e tem fachadas orientadas a SE (cozinha e sala) e NW (quartos).

A 0 mostra o apartamento bem como a localização dos vários dispositivos do sistema de ventilação [4].

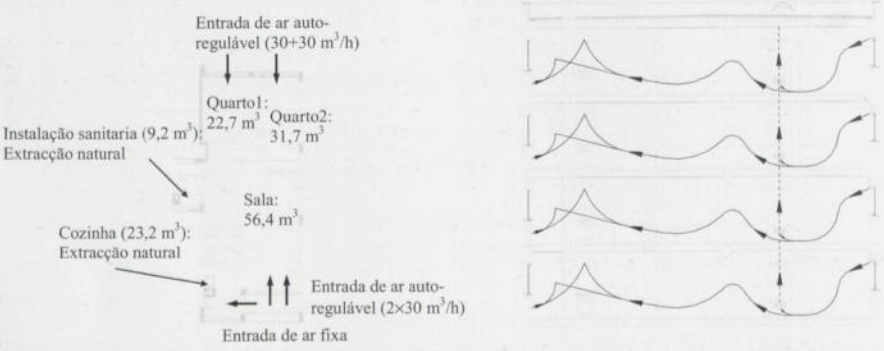


Figura 1: Princípio de funcionamento do sistema de ventilação implementado.

A conduta da instalação sanitária (ϕ110), adiante designada por "normal" (não modificada), tem uma vulgar grelha de extracção, em PVC, posicionada a aproximadamente 2,1 m do pavimento, e não tem isolamento térmico e ventilador estático. A área bruta da grelha é de 15×15 cm^2 (área útil aproximada de

26 cm^2) e o coeficiente de perda de carga da grelha corresponde a 2,8, o que equivale a uma perda de carga de 40 Pa para 45 m^3/h. Este valor ultrapassa largamente a perda de carga recomendada pela NP 1037-1: 2002 [2], 3 Pa.

Tabela 1: Estudo do sistema de ventilação da instalação sanitária - Resumo dos ensaios efectuados.

Ensaio	Configuração do sistema	Configuração		
			Cond. normal	Cond. modificada
Situação corrente	- Cond. modificada: sem alterações; - Cond. normal: sem alterações.	A		‖
Influência do ventilador estático e do aquecimento ambiente	- Cond. modificada: sem grelha de extracção; - Cond. normal: sem grelha de extracção; - Dois em três ensaios, com aquecimento ambiente.	B		‖
		C	+ ΔT	
Influência da grelha de extracção	- Cond. modificada: sem ventilador estático; - Cond. normal: sem alterações.	D		‖
	- Cond. modificada: sem ventilador estático; - Cond. normal: sem grelha de extracção.	E		‖
Influência do aquecimento ambiente e do isolamento térmico da conduta	- Cond. modificada: sem alterações; - Cond. normal: sem alterações; - Três ensaios com aquecimento ambiente.	F		‖
			+ ΔT	
Notas:				
ΔT	- ensaio com diferença de temperatura interior-exterior obtida através de radiadores;			
	- conduta não isolada, sem grelha e sem ventilador estático;			
‖	- conduta isolada, sem grelha e sem ventilador estático;			
	- ventilador estático;			
	- grelha com baixa perda de carga;			
	- grelha "normal" (*standard*).			

No âmbito da caracterização do sistema instalado, inseriu-se uma conduta suplementar de PVC, adiante designada por "modificada", na instalação sanitária do apartamento ensaiado, de diâmetro igual à "normal", isolada termicamente pelo exterior com uma espessura aproximada de 3 cm; conjuntamente, instalou-se também uma grelha com baixa perda de carga e um ventilador estático na saída da conduta na cobertura. A grelha de extracção era em alumínio injectado (origem francesa) com as seguintes dimensões: exterior = 196(l)×150(h) mm^2, interior = ϕ120mm. O coeficiente de perda de carga

desta grelha de extracção corresponde a 0,77, o que equivale a uma perda de carga de 2 Pa para 45 m^3/h. O ventilador estático, de origem francesa, tinha um coeficiente de perda de carga de 1,5 e o coeficiente de depressão foi obtido segundo a norma NF P 50-413: 1993 [5].

Os ensaios decorreram com o apartamento desocupado, entre os meses de Dezembro de 2005 e Março de 2006, e tiveram uma duração média de 33 horas. Na Tabela 1 apresentam-se resumidamente os ensaios levados a efeito.

3 Ensaios levados a efeito. Situação corrente

Apresentam-se somente os resultados dos ensaios referentes à situação corrente - A (Tabela 2).

Tabela 2: Resultados da situação corrente (A).

Características	Descrição	
Data do ensaio:	15 - 16/12/2005	14 - 16/3/2006
Configuração do ensaio:	A	A
Vento - velocidade média:	2,4 m/s(1)	0,8 m/s(1)
Vento - direcção predominante:	NE + E + SE = 83%	SE + S = 39%
$\Delta T_{int-ext}$:	13,2 - 9,5 = 3,7°C	16,9 – 12,0 = 4,8°C
Caudal médio na conduta modificada:	17,3 m^3/h	9,0 m^3/h
Caudal médio na conduta normal:	8,0 m^3/h	7,3 m^3/h
Nota (1): segundo as normais para a Serra do Pilar (estação meteorológica mais próxima do local), a velocidade média registada situa-se bastante abaixo dos valores médios por rumo para a situação de Inverno (4 - 6 m/s).		

A título exemplificativo, apresenta-se na 0 a evolução dos caudais extraídos, bem como a velocidade e direcção do vento para o ensaio realizado entre os dias 15 e 16 de Dezembro.

Dos resultados apresentados, pode-se concluir que os dispositivos implementados na conduta modificada, grelha de baixa perda de carga e ventilador estático, incrementam o caudal relativamente à conduta normal, sendo este incremento bastante dependente da direcção (maior preponderância em direcções perpendiculares às fachadas: SE e NW) e velocidade do vento. Os picos da velocidade do vento conduzem a maiores incrementos nos caudais da conduta modificada (com ventilador estático). No entanto, o caudal médio extraído na conduta modificada (17,3 m^3/h) é, mesmo assim, bastante baixo.

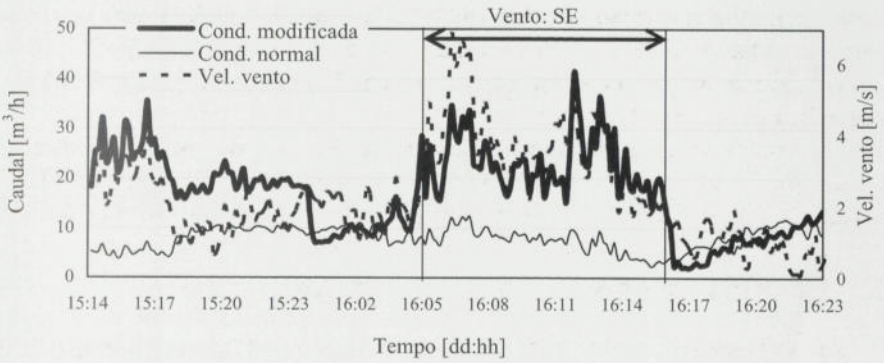


Figura 2: Situação corrente (A). Caudais, velocidade e direcção do vento.

4 Conclusões

Apresentam-se de seguida as conclusões mais significativas retiradas de todos os ensaios.

Quanto à influência do vento, pode-se concluir o seguinte:

— a velocidade e direcção do vento são preponderantes para se obterem incrementos significativos nos caudais extraídos, principalmente nos rumos perpendiculares às fachadas em estudo, SE e NW, mesmo em situações de velocidades do vento baixas;

— a velocidade do vento tem mais preponderância que o diferencial de temperatura no incremento dos caudais.

Quanto à influência do isolamento térmico da conduta e aquecimento ambiente, pode-se concluir o seguinte:

— o isolamento térmico faz-se sentir só na situação de aquecimento ambiente, provavelmente, porque, neste caso, a diferença de temperatura é maior, o que conduz a perdas térmicas mais significativas na conduta não isolada;

— o aquecimento ambiente só se revelou determinante para o incremento dos caudais na ausência de grelha fixa de extracção.

Quanto à influência da perda de carga das grelhas e do ventilador estático, pode-se concluir o seguinte:

— a situação de grelha com baixa perda de carga e ventilador estático revelou-se a mais favorável para se obterem caudais mais elevados;

— a grelha com elevada perda de carga restringe fortemente os respectivos caudais.

No que diz respeito aos caudais e renovações horárias obtidos, pode-se concluir o seguinte:

— o maior caudal médio obtido na conduta modificada foi de 22,4 m^3/h, 2,4 *RPH*, atingido na ausência de grelha fixa de extracção, vento fraco e perpendicular às fachadas (23 a 24 de Dezembro);

— as situações correntes, sem alterações nas condutas (15 e 16 de Dezembro e 14 a 16 de Março), revelaram um caudal médio máximo de 17,3 m^3/h, 2,1 *RPH*, na conduta modificada, atingido nas condições de vento fraco e perpendicular às fachadas.

Como conclusão geral, pode retirar-se que em situação de ventilação natural na cozinha e de não utilização (sem aquecimento das águas sanitárias ou sem aquecimento ambiente), os caudais médios atingidos na conduta modificada são razoáveis, aproximadamente 2 *RPH*. Crê-se que, na situação de velocidade do vento com valores médios próximos dos das normais do local (4-6 m/s), os valores atingidos seriam razoavelmente superiores. No entanto, a direcção do vento seria sempre preponderante. É de realçar que, dificilmente o valor nominal de cálculo (45 m^3/h) seria atingido. De acordo com os resultados obtidos, o principal obstáculo na prossecução de caudais razoáveis é a grelha fixa de extracção.

5 Bibliografia

[1] Viegas, J. *Ventilação Natural de Edifícios de Habitação*. Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), 1995.

[2] IPQ. *Ventilação e Evacuação dos Produtos da Combustão dos Locais com Aparelhos a Gás. Parte 1: Edifícios de Habitação. Ventilação Natural.* NP 1037-1. Monte de Caparica, Instituto Português da Qualidade (IPQ), 2002.

[3] Decreto-Lei n.º 80/2006, *Regulamento das Características de* Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE). 4 de Abril, Diário da República, I Série-A, Lisboa, 2006.

[4] Pinto, M; Freitas, V. *O Desempenho das Construções com Ventilação Natural e Mista II*. Seminário sobre Aplicação da Ventilação Natural e Mista, LNEC, Lisboa, Maio 2007.

[5] AFNOR. *Ventilation. Conduits de Ventilation Naturelle et Conduits de Fumée. Code d'Essai et Classement des Extracteurs Statique.*, NF P 50-413, Paris, France, Association Française de Normalisation (AFNOR) 1993.



SESSÃO XVII

ARGAMASSAS

PROPOSTA DE AVALIAÇÃO EM LABORATÓRIO DO LASCAMENTO EXPLOSIVO DO CONCRETO SUBMETIDO A TEMPERATURAS ELEVADAS

Armando Lopes Moreno Júnior*
almoreno@fec.unicamp.br

Adriana Aparecida Ambrosio de Souza†
ambrosio@fec.unicamp.br

Resumo

O lascamento explosivo do concreto pode ocorrer devido à combinação de diversos fatores, dentre os quais os mais importantes são a alta densidade de alguns concretos e o excesso de pressão na rede de poros causado pelo vapor de água. O lascamento explosivo é um fenômeno complexo que pode causar um efeito violento a concretos em situação de incêndio, podendo haver colapso total da estrutura ou redução da capacidade resistiva. O lascamento explosivo deve, portanto, ser considerado no projeto de construções em que a ação do fogo é levada em conta (HERTZ (2002)). Não existe metodologia de avaliação em laboratório deste fenômeno. Nenhum procedimento quanto a tamanho das amostras, preparo das mesmas (execução e cura), tempo de exposição à temperatura, evolução da temperatura ao longo do tempo (taxas de aquecimento), quantificação do fenômeno (degradação das amostras em termos de fissuração e desprendimento de camada superficial das amostras). Nesta pesquisa pretende-se propor uma metodologia experimental de avaliação da "tendência" do lascamento explosivo no concreto.

Palavras-chave: Lascamento explosivo, Incêndio, Concreto.

1 Introdução

O estudo do comportamento do concreto em situação de incêndio é essencial para sejam estabelecidas condições de projeto e execução que atendam aos requisitos para a segurança ao fogo.

A ciência da segurança ao fogo, por sua vez, vem sendo disseminada em diversos campos de estudo. Requer a integração de diferentes áreas da ciência e da engenharia, e tem como objetivos diminuir a probabilidade de ocorrência de incêndios, reduzir seus efeitos destrutivos quando ocorre um incêndio, pre-

* Prof. Doutor da FEC – UNICAMP – Chefe do Departamento de Estruturas.
† Doutoranda, Aluna de Pós – Graduação da FEC - UNICAMP.

ver facilidades para a detecção e notificação de incêndios, e estabelecer condições para a movimentação dos ocupantes e dos bombeiros (BUCHANAN (2002)).

Estudos diversos apontaram que todas essas otimizações do concreto, apesar de proporcionarem melhorias em suas propriedades físicas e químicas, podem fragilizar a estrutura quando exposta ao fogo (KALIFA et al.(2001)).

Um dos fenômenos que podem ocorrer no concreto exposto ao fogo é o lascamento explosivo, denominado na literatura especializada como "spalling", e que consiste basicamente num desprendimento de pequenas camadas superficiais do concreto, com grande liberação de energia.

1.1 Projeto

O lascamento explosivo do concreto ("spalling") pode ocorrer devido à combinação de diversos fatores, dentre os quais os mais importantes são a alta densidade de alguns concretos e o excesso de pressão na rede de poros causado pelo vapor d´água.

Quando o concreto é muito compacto, a liberação da pressão interna de vapor durante o aquecimento é dificultada, pois a porosidade é menor. Já as massas muito saturadas desenvolvem pressão interna de vapor muito elevada, ultrapassando a capacidade de liberação de vapores pelos poros e nestes casos, o lascamento (ou "spalling") pode ocorrer nos primeiros 30 minutos em que a estrutura está em contato com o fogo, e isto ocorre porque a umidade livre influi muito na pressão de vapor e o fator água/cimento influi na permeabilidade do material.

O "spalling" é um fenômeno complexo que pode causar um efeito violento a concretos em situação de incêndio, podendo haver colapso total da estrutura ou reduzindo sua capacidade resistiva substancialmente. O fenômeno do lascamento deve, portanto, ser considerado no projeto de construções em que a ação do fogo é levada em conta (HERTZ (2002)).

Não existe metodologia de avaliação em laboratório do fenômeno do lascamento explosivo no concreto. Nada, ainda, esta estabelecido em relação a procedimentos quanto ao tamanho das amostras, preparo das amostras (execução e cura), tempo de exposição à temperatura, evolução da temperatura ao longo do tempo (taxas de elevação), quantificação do fenômeno (degradação das amostras em termos de fissuração e desprendimento de camada superficial das amostras). Esta é a proposta deste projeto de pesquisa: propor (e avaliar a funcionalidade desta proposta) metodologia experimental de avaliação da "tendência" do lascamento explosivo no concreto.

2 Lascamento Explosivo – "Spalling"

No decorrer da História, certamente muitas estruturas de concreto foram expostas ao fogo, mas somente algumas destas sofreram danos estruturais devidos ao efeito do "spalling". Esses incêndios ocorriam comumente em ambientes úmidos, como algumas fábricas, ou expostos à umidade ambiente (HERTZ (2002)).

Sabe-se que as estruturas de concreto possuem uma boa resistência ao incêndio em virtude das características térmicas do material. É um material incombustível, não exala gases tóxicos e por isso os produtos de sua combustão não são prejudiciais à saúde humana; é um mau condutor de calor (baixa condutividade térmica a temperatura ambiente) em relação aos metais, e os elementos estruturais de concreto apresentam uma elevada massividade se comparados aos elementos metálicos. Essas características concedem ao concreto uma boa resistência ao fogo (COSTA (2002)). No entanto, o aumento de temperatura nestes elementos causa a redução da resistência e do módulo de elasticidade dos materiais, e isto leva a estrutura a uma perda de rigidez. É essa perda de rigidez que torna a estrutura apta a um colapso por instabilidade da peça.

Outros aspectos observados com o aumento da temperatura nas estruturas são as reações da macroestrutura do material, como os "pipocamentos" (pop-outs) e lascamentos ("spalling") que são freqüentes, o que aumenta a probabilidade da exposição da armadura quando a estrutura é exposta ao fogo.

O lascamento é um fenômeno natural nas estruturas de concreto, quando elas são expostas a altas temperaturas. Dentro da matriz de concreto, desenvolvem-se tensões de origem térmica, que influem na desintegração das regiões superficiais dos elementos estruturais (PURKISS (1996)).

Não há ainda um controle total confiável sobre a ocorrência de lascamentos, por eles serem função de uma série de fatores que levam, freqüentemente, a um comportamento imprevisível. Em alguns casos o lascamento é conseqüência da natureza mineralógica do agregado, ou da concentração de tensões térmicas desenvolvidas durante o aquecimento e que confluem para as camadas próximas aos cantos do elemento. Algumas pesquisas mostram que a esbeltez dos elementos estruturais e elevadas tensões de compressão na seção transversal de concreto durante o período de incêndio, também aumentam a probabilidade dos lascamentos ocorrerem (BUCHANAN (2001)).

Geralmente, os lascamentos explosivos são relacionados ao comportamento da pasta de cimento, isso ocorre devido à ação combinada da pressão nos poros e das tensões térmicas internas induzidas por gradientes térmicos (BUCHANAN (2001); TENCHEV & PURKISS (2001)). Este fato pode ocorrer em concretos menos permeáveis, como os concretos de alta resistência, onde a matriz compacta impede a liberação dos vapores formados durante o aquecimento,

havendo o desenvolvimento de pressão interna elevada e induzindo lascamentos potencialmente explosivos (COSTA (2002)).

2.1 Possíveis causas do Lascamento Explosivo

O efeito do lascamento explosivo ("explosive spalling"), cuja perda do material é parcial, instantânea e violenta com grande liberação de energia, forma grandes cavidades nos primeiros 30 minutos do incêndio.

As causas possíveis para a ocorrência do lascamento explosivo (Spalling) são as seguintes:

— Água de combate ao incêndio;
— Alta densidade do concreto;
— Água livre;
— Taxa de Aquecimento;
— Distribuição não Uniforme de Temperatura;
— Seções Transversais Delgadas dos Elementos Estruturais;
— Altas Concentrações de Armadura;
— Nível de Carregamento dos Elementos Estruturais Comprimidos;
— Pressão de Vapor;
— Transformações Mineralógicas dos Agregados;
— Tensões Térmicas;
— Solicitações externas.

3 Metodologia de ensaios de simulação do "Spalling"

A simulação do "spalling" é considerada difícil devido à extensa gama de variáveis que envolvem o fenômeno.

Em um dos raros trabalhos internacionais sobre o assunto, KALIFA et al. (2001) apresenta uma metodologia para a simulação do "spalling" , com o objetivo de indicar as condições de risco de "spalling" de uma estrutura e gerar recomendações para a sua prevenção. O autor relacionou a temperatura e a pressão nos poros, bem como as perdas de massa em corpos-de-prova prismáticos sujeitos a gradientes de temperatura unidimensionais, de dimensões 30 x 30 x 12 cm. As faces laterais dos corpos-de-prova foram isolados do calor por blocos cerâmicos porosos. A superfície do concreto foi instalada a 3 cm da fonte de radiação de calor. As medições de temperatura e pressão nos poros foram feitas simultaneamente e o mesmo ensaio foi realizado com concreto comum (OC), além do concreto de alto desempenho (HPC), ambos com agregados calcáreos.

No Brasil (MAYUME e MORENO (2006)) testaram corpos-de-prova cilíndricos. Porém, nestes trabalhos, nada foi relatado a respeito de propostas de metodologia de avaliação experimental do fenômeno.

3.1.1 Metodologia proposta

Os corpos-de-prova cilíndricos de concreto, de 20 cm de altura e 10 cm de diâmetro serão moldados com as mesmas misturas de concreto avaliadas em amostras prismáticas. A comparação da intensidade do fenômeno do lascamento explosivo, entre amostras prismáticas e corpos-de-prova cilíndricos também é um dos objetivos deste trabalho.

Os corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos serão moldados de acordo com as normas NBR 12821 – Preparação de concreto em laboratório e NBR 5738 – Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto. A resistência mecânica (compressão, tração e módulo de deformação) de cada traço será avaliada. Teor de umidade e porosidade também serão avaliados.

Corpos-de-prova cilíndricos e prismáticos de concreto serão submetidos a elevadas temperaturas e o fenômeno do lascamento explosivo será quantificado de acordo com proposta definida neste projeto de pesquisa, em forno existente no Laboratório de Estruturas e Materiais da Unicamp será adaptado com aparato para avaliação de amostras prismáticas ao fenômeno do lascamento explosivo. O projeto e execução deste aparato são objetivos deste projeto de pesquisa.

Paralelamente a quantificação do fenômeno do lascamento explosivo, a resistência mecânica residual (tração, compressão e módulo de deformação) das misturas de concreto aquecidas serão avaliadas através das normas: NBR 7222 – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos; NBR 5739 – Ensaio de compressão de CP's cilíndricos e NBR 8522 – Determinação do módulo de deformação estática e Diagrama – Tensão de deformação.

4 Conclusão

A simulação do "spalling" é considerada difícil devido à extensa gama de variáveis que envolvem o fenômeno. Diante das dificuldades apresentadas, os equipamentos presentes em no laboratório estão sendo reformados para que os resultados obtidos sejam confiáveis.

5 Agradecimentos

Os pesquisadores agradecem ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo apoio financeiro fornecido a este projeto de pesquisa.

BIBLIOTECA F.E. PORTO

6 Bibliografia

[1] HERTZ, K. D. Limits os spalling of fire-exposed concrete. *Fire Safety Journal 38* (2002) 103-116.

[2] BUCHANAN, A. H. *Structural for Design Safety*. John Wiley & Sons Ltd. Chichester (U.K.), 2001.

[3] KALIFA, Pierre; CHÉNÉ, Grégoire; GALLÉ, Christophe. *High-Temperature Behaviour HPC with Polypropylene Fibres from Spalling to Microstructure*. Cement and Concrete Research, N° 31. Elsevier Science Ltd. Amsterdam, 2001.

[4] COSTA, Carla Neves; SILVA, Valdir Pignatta e. *Estruturas de Concreto em Situação de Incêndio*. In: *XXX Jornadas Sul-Americanas de Engenharia Estrutural*. Anais. PECC-UnB/ASAEE. Brasília, 2002. [no prelo]

[5] PURKISS, Jonh A. *Fire Safety Engineering Design of Structures*. Butterworth Heinemann. Oxford, 1996.

[6] BUCHANAN, A.H. *Structural for design fire safety*. Chichester; New York: Wiley, 2001. xxii, 421p.

[7] TENCHEV, Rosen T.; PURKISS, Jonh A. *Finite Element Analysis of Coupled Heat and Moisture Transfer in Concrete Subjected to Fire*. Numerical Heat Transfer, Part A: Applications, No. 7. Vol 39. Taylor & Francis Group. Chicago, 2001.

[8] MAYUMI, K.; MORENO JR. A. L. Efeito do Fogo no Concreto: Análise do Comportamento de Corpos-de-Prova de Concreto em Situação de Incêndio, com Identificação da Temperatura do Lascamento Explosivo. In: *48° Congresso Brasileiro do Concreto*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil,2006.

[9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *Preparação de Concreto em Laboratório*. NBR 12821. Rio de Janeiro.

[10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto*. NBR 5738. Rio de Janeiro, 1993.

[11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *Argamassa e Concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos*. NBR 7222. Rio de Janeiro, 1994.

[12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilindricos*. NBR 5739. Rio de Janeiro, 1994.

IMPERMEABILIZAÇÃO COM REBOCOS PRÉ-DOSEADOS, EM REVESTIMENTOS EXTERIORES VERSUS IMPERMEABILIZAÇÃO COM REBOCOS TRADICIONAIS

Laureano Leite Costa*
laureanocosta@hotmail.com

Anabela Gonçalves Correia de Paiva†
apaiva@utad.pt

José Barbosa Vieira‡
jbvieira@utad.pt

Resumo

Desde a antiguidade que se utilizam as argamassas no sector da construção. Os problemas causados pela insuficiência ou falta de impermeabilização são factores importantes na qualidade da construção. Ao longo dos anos todas as obras sofrem a acção do tempo e passam a exibir marcas superficiais ou profundas. Nas edificações actuais a estrutura e a envolvente são afectadas por vários agentes externos, como fungos, a própria atmosfera, mudanças climáticas e até mesmo a acção do homem. No entanto, muitas das patologias causadas pelos agentes seriam evitadas se a edificação fosse impermeável à água e permeável ao vapor de água. O objectivo deste trabalho consiste em comparar as argamassas de impermeabilização tradicionais com as pré-doseadas e verificar qual das argamassas obtém melhores resultados, contribuindo assim para a melhoria do comportamento das argamassas face à humidade e também para a melhoria do nível da qualidade da construção portuguesa. Para o efeito, foram realizados diferentes tipos e composições de argamassas destinadas a impermeabilizar, que posteriormente foram submetidas a ensaios laboratoriais de capilaridade, flexão e compressão. Neste trabalho serão apresentados os principais resultados obtidos nos ensaios acima referidos.

Palavras-chave: Impermeabilização, Rebocos, Argamassas.

* Aluno do Mestrado em Engenharia Civil da UTAD.
† Professora Associada da UTAD.
‡ Professor Auxiliar Convidado da UTAD.

1 Introdução

As argamassas secas industriais destinadas à execução de revestimentos exteriores, embora com grande tradição noutros países europeus, são uma realidade relativamente recente em Portugal. Com efeito, as primeiras argamassas deste tipo começaram a ser produzidas no início dos anos 90 (século XX). Na escolha de uma argamassa para um revestimento exterior deve ter-se sempre em conta três factores: a localização do edifício, o contexto onde se insere e o tipo de ocupação [1]. De um modo geral, para se obter um bom revestimento com argamassas são fundamentais as seguintes camadas: de preparo da base (chapisco), de regularização (emboço) que pode constituir-se num revestimento de camada única e de acabamento (reboco) [2].

2 Patologias

A fraca qualidade dos agregados e aglomerantes, a má execução do revestimento, os agentes externos, como por exemplo, a humidade do ar, são alguns exemplos dos agentes que podem provocar patologias nas edificações. Os fenómenos patológicos com maior expressão nas paredes são a fissuração e os defeitos associados à acção da humidade [3]. A presença de humidade nas paredes pode acelerar a degradação das características mecânicas dos materiais e originar o aparecimento de eflorescências ou criptoflorescências, bolor, vesículas e descolamento do reboco rígido [4]. Compete aos revestimentos dar um importante contributo na impermeabilização das paredes, mas deve ser a parede no seu todo a garantir as exigências de estanqueidade.

3 Argamassas de impermeabilização em revestimentos exteriores

Actualmente existem no mercado mais de 100 tipos de argamassas prontas a aplicar e todas elas com os requisitos mínimos necessários para a realização e obtenção de um bom trabalho. Assim como as argamassas em geral, também as argamassas de impermeabilização podem ser obtidas de forma tradicional ou em fábrica. O processo de fabrico das argamassas pré-doseadas de impermeabilização é semelhante ao das restantes argamassas pré-doseadas. São argamassas secas, sendo apenas necessário adicionar água em obra para a obtenção da argamassa [5]. Quando as argamassas de impermeabilização são obtidas de forma tradicional a mistura de todos os constituintes da argamassa (água, agregados, ligantes, adjuvantes/aditivos) é feita em obra. Este processo de obtenção de argamassa não confere total garantia de qualidade, embora actualmente as empresas fabricantes de argamassas disponibilizem produtos e

informação necessária para que qualquer consumidor possa obter uma argamassa de impermeabilização em obra, que garanta todos os requisitos exigidos.

4 Ensaios

4.1 Introdução

O estudo experimental foi realizado no Laboratório de Materiais e Solos, do Departamento de Engenharias, da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Foram realizados 3 tipos de ensaios, capilaridade, flexão e compressão, aos provetes de argamassas com as composições apresentadas na Tabela 1. Achou-se por bem a realização destes três ensaios pois qualquer um deles é importante para o bom funcionamento de um reboco. Os ensaios de flexão e compressão foram elaborados seguindo os critérios da Norma Portuguesa EN 196-1 [6]. Nos pontos seguintes vão ser apresentados os resultados obtidos na realização dos ensaios.

Tabela 1: Composição das argamassas.

Argamassa		Composição	
Tradicional		Dosagem volumétrica	Constituintes
Designação	Tipo		
A1	Sem impermeabilizante	1:2	Cimento Portland (classe 42,5): areia fina
A2	Impermeabilizante SikaCim	1:2	Cimento Portland (classe 42,5): areia fina: SikaCim Hidrófugo
A3	Impermeabilizante Super Sikalite	1:2	Cimento Portland (classe 42,5): areia fina: Super Sikalite Hidrófugo
Pré - doseada		-	Cimento, areias siliciosas e calcárias, sais activos e aditivos
A4	Weber.dry KG		

4.2 Ensaio à capilaridade

Os Gráficos 1, 2, 3 e 4 apresentam a variação da quantidade de água absorvida por capilaridade das argamassas endurecidas. A absorção de água é calculada pela variação de água absorvida por unidade de área com a raiz quadrada do tempo em que se verificou essa absorção. A linha de tendência às curvas permite obter os valores dos coeficientes de correlação e o declive de cada uma das rectas faculta o valor do Coeficiente de Absorção Capilar em g/cm^2. As linhas de tendência estão apresentadas a traço mais fino [7].

O coeficiente de correlação para a argamassa A1 é de 96,77% e a linha de tendência tem por equação y = 0,0003x + 0,0015. Portanto, o coeficiente de absorção capilar é dado por 0,0003 g/cm^2 (coeficiente angular da linha de ten-

dência) (Gráfico 1). Na argamassa A2 e A3, os coeficientes de correlação são de 98,91% e 98,67%, respectivamente, no entanto o coeficiente de absorção capilar é igual a 0,0002 g/cm^2 nas duas (Gráficos 2 e 3). Na argamassa pré-doseada A4, o coeficiente de correlação é de 80,66% e o coeficiente de absorção capilar é de 0,0009 g/cm^2 (Gráfico 4).

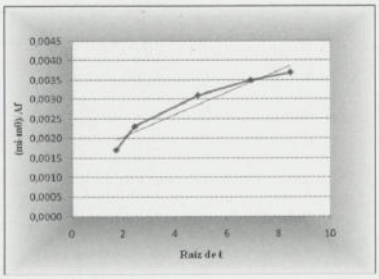


Gráfico 1: Absorção por Capilaridade. Argamassa A1

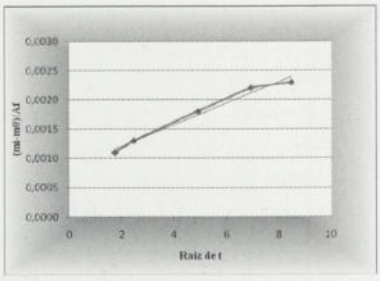


Gráfico 2: Absorção por Capilaridade. Argamassa A2

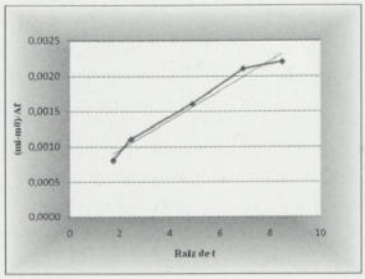


Gráfico 3: Absorção por Capilaridade. Argamassa A3

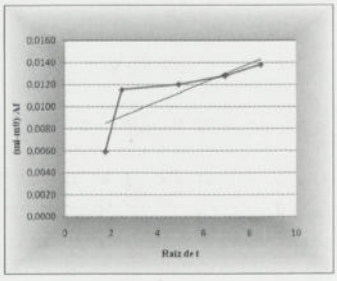


Gráfico 4: Absorção por Capilaridade. Argamassa A4

Através da análise dos gráficos e das tabelas anteriores verifica-se que a quantidade de água absorvida pelos provetes foi menor nas argamassas tradicionais (A1, A2 e A3) do que na pré-doseada (A4). As argamassas tradicionais não sofreram, em nenhum período, uma absorção considerável. A pré-doseada absorveu quantidades de água consideráveis, principalmente nas primeiras horas em contacto com a água. Quando comparados os resultados das argamassas A1, A2 e A3, verifica-se uma absorção de água semelhante entre elas. Assim, todas elas constituem uma boa escolha para evitar problemas de humidade por capilaridade.

4.3 Ensaios à flexão

No Gráfico 5 apresenta-se a resistência máxima obtida à flexão de todas as argamassas estudadas. São apresentados os resultados obtidos aos 7 e 28 dia

para as tradicionais. A argamassa A4 não foi submetida a ensaios aos 7 dias, de acordo com a ficha técnica. Comparando os resultados obtidos aos 28 dias com os obtidos aos 7 dias, a argamassa A2 continua a ser a mais resistente, 6,7 MPa. A argamassa A4 obteve uma resistência de aproximadamente 6 MPa. Depois da análise à capilaridade os mesmos provetes foram submetidos a ensaios de flexão. Analisando os resultados, mais uma vez se verifica uma maior resistência obtida pela argamassa A2. A A4 foi a que apresentou menor resistência, 3,14 MPa.

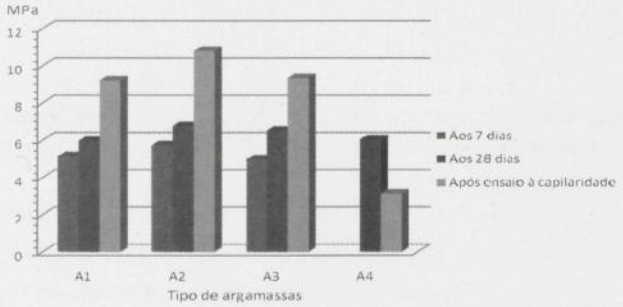


Gráfico 5: Resistência máxima obtida à flexão.

4.4 Ensaios à compressão

No Gráfico 6 são apresentados os resultados obtidos no ensaio à compressão para todos os tipos de argamassas tradicionais aos 7 e 28 dias, bem como pela argamassa pré-doseada, esta somente aos 28 dias.

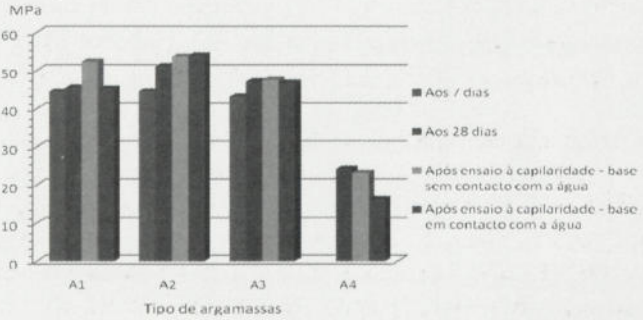


Gráfico 6: Resistência máxima obtida à compressão.

Comparando os resultados obtidos aos 28 dias com os obtidos aos 7 dias, verificou-se que a argamassa A2 é a mais resistente, aproximadamente 51 MPa. A que apresentou menor resistência foi a A4, com cerca 24,20 MPa. No entanto, o valor obtido está de acordo com o previsto na sua ficha técnica (≈ 20 MPa).

5 Conclusões

Analisando os resultados dos ensaios realizados e apesar do limitado número de provetes, pode conclui-se que:

— Todas as argamassas tradicionais atingiram patamares de elevada resistência mecânica, sendo a A2 a que apresentou melhores resultados;

— A melhoria da resistência mecânica da argamassa tradicional A2 pode ter sido conseguida devido à redução do teor de água de amassadura, dado que o hidrófugo utilizado é líquido. A razão de água/cimento utilizada nas argamassas A1 e A3 foi de 0,4, passando para 0,35 na argamassa A2;

— Nos ensaios à flexão a argamassa pré-doseada A4 obteve valores da mesma ordem de grandeza dos das argamassas tradicionais;

— Nos ensaios à compressão a argamassa pré-doseada A4 obteve valores muito reduzidos, quando comparados com os das restantes argamassas. No entanto os valores estabelecidos na ficha técnica foram atingidos;

— Relativamente aos ensaios à capilaridade, as argamassas hidrofugadas (A2 e A3) foram as que apresentaram menores valores de absorção de água, sendo por isso as mais indicadas para garantir uma boa impermeabilização e evitar o aparecimento de patologias;

— A argamassa pré-doseada A4 apresenta alguma debilidade à penetração de água por capilaridade.

6 Bibliografia

[1] Maxit. Internet. Disponível em: http://www.maxit.pt/1386

[2] Pelisser, Fernando et al., *Estudo de diferentes tipos de argamassas de revestimento à base de cimento com adição de cal e aditivos químicos*. In: APFAC (Associação Portuguesa de Fabrico de Argamassas de Construção), 2º congresso de argamassas de construção, 2007.

[3] Gonçalves, Adelaide et al., *Reabilitação de Paredes de Alvenaria Revestidas*. In: APFAC (Associação Portuguesa de Fabrico de Argamassas de Construção), 2º congresso de argamassas de construção, 2007.

[4] *Argamassas fabris – Aplicações e características*. In: arte&construção 205: 42-48. Novembro de 2007.

[5] EN 998-1: *Specification for mortar for masonry – Part 1: Rendering and plastering mortar*. Abril 2003.

[6] Norma Portuguesa EN 196-1 (1996). *Métodos de ensaios de cimentos. Parte 1: Determinação das resistências mecânicas*.

[7] Pinto, Amândio (1999-2003): "Sistemas Ligantes Obtidos por Activação Alcalina do Metacaulino". Tese de Doutoramento.

ADIÇÃO DE FIBRAS DE SISAL EM DIFERENTES COMPOSIÇÕES DE REBOCOS

Luís F. A. Dias*
luisdias16@gmail.com

Anabela C. Paiva†
apaiva@utad.pt

José Barbosa Vieira‡
jbvieira@utad.pt

Resumo

Sendo a fendilhação de rebocos uma das patologias mais frequentes e gravosas que ocorrem nas paredes dos edifícios, é importante recorrer a novas soluções construtivas e novos materiais. As fibras de Sisal podem ser uma solução para esse problema, atendendo a que a utilização de materiais de baixo custo é um requisito num contexto de obra, sem prejudicar no entanto a qualidade das construções.

O objectivo principal deste trabalho consiste em efectuar um estudo sobre a utilização de fibras de Sisal, como reforço de rebocos de paredes interiores e exteriores. Para o efeito, serão propostas diferentes composições de argamassas contemplando fibras de Sisal, que posteriormente serão submetidas a ensaios laboratoriais destrutivos com o intuito de obter rebocos com menor grau de fissuração e de maior durabilidade.

Na presente comunicação são apresentados os resultados laboratoriais dos ensaios efectuados tendo como finalidade a determinação de um teor óptimo de fibra, para o qual a resistência do reboco é máxima.

Palavras-chave: Fibras Vegetais, Sisal, Rebocos, Argamassas.

1 Introdução

Segundo alguns investigadores, o uso de fibras nas argamassas beneficia o comportamento pós-fissuração do reboco e funcionar como ponte de transferência de tensões. As fibras quando adicionadas à argamassa, podem contribuir para o aumento da capacidade resistente, da capacidade de deformação e da tenacidade do reboco. Desta forma, a argamassa que apresentava uma fractura

* UTAD, Portugal.
† UTAD, Portugal.
‡ UTAD, Portugal.

frágil pode apresentar uma fractura quase dúctil [1].

É ainda de notar, que os principais estudos sobre a aplicação de fibras de Sisal na construção civil, têm sido desenvolvidos pelo estado brasileiro, em parte devido à abundância de cultivo da planta de sisal nesse país, mas também pelo baixo custo que representa a sua utilização na construção.

2 Materiais

Para melhor previsão e interpretação dos resultados deste estudo procedeu-se à análise prévia das características das fibras de Sisal, que vão ser o objecto deste trabalho.

Através da análise da Tabela 1, baseada em L. F Caetano *et al* [2], verifica-se que no que, diz respeito à Resistência à Tracção, é de notar que as fibras de Sisal têm uma resistência de cerca de 1/10 das fibras de Vidro e de Carbono, e cerca de 1/3 das de Aço. No que toca à Deformação na Ruptura, as fibras de Sisal demonstram capacidade de extensão 10 vezes superiores às das fibras de Aço e o dobro da deformação suportada pelo Carbono.

Tabela 1: Propriedades das fibras de sisal e de algumas fibras minerais [2].

Tipo de Fibras	Diâmetro *(mm)*	Densidade *(g/cm^3)*	Módulo de Elasticidade *(GPa)*	Resistência à Tracção *(MPa)*	Deformação na Ruptura *(%)*
Sisal	-	-	13-26	0,28 - 0,57	3,00-5,00
Aço	5-50	7,84	190-210	0,50 – 2,00	0,50-3,50
Carbono	9	1,90	230	2,60	1,00
Vidro	9-15	2,60	70-80	2,00 – 4,00	2,00-3,50

3 Métodos de ensaio

Para melhor avaliação do comportamento dos rebocos com diferentes composições de fibras, quando sujeitos a acções externas, são feitos ensaios laboratoriais destrutivos e normalizados de compressão, flexão e tracção. Baseados nos ensaios realizados podemos determinar a resistência de cada composição, com diferente teor de fibra, e dai avaliar e determinar a percentagem ideal.

3.1 Resistência à Compressão

No que diz respeito à resistência à compressão, os estudos experimentais realizados no passado, demonstraram comportamentos dos rebocos tanto de aumento como de decréscimo, da sua resistência à compressão, com diferentes tipos de fibras. Para fibras de aço, por exemplo, Mangat & Azari (1984) e Fanella & Naana (1985), citados por Lima [3], indicam uma redução até 10%

na resistência à compressão quando adicionado um volume de fibra correspondente a 0,5% do volume da argamassa. Segundo Rodrigues (1999), citado por Lima [3], com a utilização de fibras de Sisal, os rebocos apresentam uma redução na resistência à compressão de 45%, quando adicionado um volume de 3% de fibras. Segundo Brescansin [4], a resistência à compressão dos rebocos é influenciada pelo tipo e fracção volumétrica de fibras adicionadas, actuando directamente na trabalhabilidade da argamassa. Se a compactação for ineficiente, haverá aumento da porosidade da mistura, contribuindo assim para a redução da resistência. Com a utilização de fibras naturais, essa redução de trabalhabilidade é maior, porque estas apresentam capacidades higroscópica; em comparação com fibras de aço, por exemplo, que não possuem essa característica. Segundo Lima [3], citando Toledo Filho, Com a absorção de água as fibras de sisal expandem-se radialmente, cerca de 15% do seu diâmetro.

Na produção de argamassas reforçadas com fibras naturais é importante ter em conta o tempo de cura das mesmas, no qual ocorre a perda da água absorvida anteriormente e a consequente retracção de volume das fibras. Tal retracção aumentará ainda mais as descontinuidades no interior dos rebocos.

Pode concluir-se, no que diz respeito à resistência à compressão, que as fibras reduzem a capacidade resistente do reboco. No entanto, é importante referir que estas evitam a fractura instantânea do corpo comprimido, dissipando e desviando os planos de ruptura.

3.2 Resistência à Flexão

Para uma melhor análise do comportamento dos rebocos compostos por fibras de Sisal, quando sujeitos a esforços de flexão, pode recorrer-se à análise de vigas prismáticas de betão e a partir daí comparar os resultados. Mas segundo Bentur & Mindess [3] a teoria convencional da flexão não é aplicável aos rebocos, sendo apenas aplicável até a tensão da primeira fissura, mas não pode ser considerada para o comportamento em flexão para além desse ponto.

Segundo Toledo Filho, citado por Lima [3], pode ser esquematizada uma curva carga/flexão típica, Figura 1, dividindo-se em diferentes regiões, com base no processo de ruptura, para argamassa reforçada com fibras de sisal. A curva carga/flexão pode ser dividida em duas regiões, sendo a região I a zona elástica antes da fissuração e a região II a zona não elástica até a ruptura. Na região I, a carga é suportada pela argamassa armada coma as fibras, isto é, uma contribuição conjunta da argamassa e das fibras na resistência a diferentes solicitações. Na região II, apenas as fibras suportam tensões de tracção (como no betão armado convencional).

Na sub-região (a), a carga é transmitida da argamassa para as fibras. Nesta região as forças elásticas suportadas pela argamassa são transmitidas para as fibras após a fissuração. Imediatamente após a fissuração, as fibras que vir-

tualmente não suportavam nenhuma carga e possuem baixo módulo de elasticidade, não podem absorver a carga suportada pela argamassa antes da fissuração. Assim, a capacidade de suporte de carga diminui temporariamente. A magnitude da redução entre P_{cr} e P_o, podendo ser afectada pelo comprimento, volume, arranjo das fibras, velocidade de carga e resistência da argamassa.

Na sub-região (b), as fibras suportam todas as forças de tracção e a capacidade de carga é recuperada à medida que as fibras são traccionadas, com o aumento da flexão. Uma capacidade de carga máxima, (P_{max}), que excede a carga de fissuração, pode ser alcançada dependendo do comprimento, volume e orientação da fibra.

Na sub-região (c) a capacidade de suporte de carga decresce. Nesta região a argamassa reforçada com fibras perde gradualmente a capacidade de suporte de carga porque se verificou o arrancamento ou ruptura das fibras e, finalmente, a ruptura do reboco ocorre.

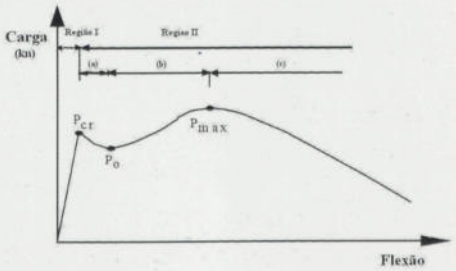


Figura 1: Curva esquemática carga/deflexão (baseada em Kobayashi & Cho, 1981 e corrigido por Toledo Filho, 1999).

Pode concluir-se, relativamente à resistência à flexão de um reboco, que a carga suportada pode ser consideravelmente aumentada pela inclusão de fibras. A presença das mesmas é marcante após ser atingida a carga correspondente ao início da fissuração do reboco. Assim, em vez de uma ruptura brusca apresentada nos rebocos ditos convencionais, este continua a suportar cargas, apresentando grandes deformações.

4 Trabalho Experimental

Tendo em vista a avaliação da capacidade de reforço das fibras de Sisal, o estudo experimental foi desenvolvido com uma argamassa típica de revestimento com traço 1:1:6 ou seja uma argamassa mista de cimento: cal apagada: areia e uma percentagem variável de Sisal. Para efeitos de comparação das ordens de grandeza, foi tomada como referência uma argamassa com o mesmo traço mas desprovida de fibras de Sisal. A argamassa mista recebeu diferentes adições de fibras, a saber 0%, 1%, 2%, 3%, 4% e 5%. No que diz respeito à

quantidade de água utilizada, esta foi determinada através de um estudo prévio baseado na trabalhabilidade da mistura. Para o efeito de aplicação em reboco foi aplicada a mesma quantidade de água, em peso, que a fracção de ligante (cimento e cal). Com base na norma EN 196-1 [5] após os 5 primeiros dias de cura em câmara húmida, os corpos-de-prova foram colocados no ambiente do laboratório. Para o fabrico das argamassas utilizou-se um cimento Portland do tipo II classe 42,5, uma cal apagada adquirida no comércio local e areia britada tipo "Brivel". As fibras foram obtidas no comércio local e submetidas ao corte com um comprimento aproximado de 20 mm para melhorar a mistura e homogeneização das mesmas quando adicionadas à argamassa.

4.1 Determinação das propriedades mecânicas

Para cada argamassa foram moldados 3 corpos-de-prova prismáticos de 40×40×160 mm, para os quais foram determinadas as propriedades mecânicas através de ensaios de resistência à compressão e de resistência à flexão, com a idade de 14 dias, segundo a norma EN 196-1 [5].

4.1.1 Resistência à compressão

A Figura 2 apresenta os resultados de resistência à compressão. Constata-se que a adição de fibras não aumenta a grandeza da resistência à compressão em comparação com a argamassa sem fibras.

No entanto, interessa salientar que a diminuição da resistência à compressão é de aproximadamente 35%, para um teor de fibra de 5%, em comparação com a resistência registada para a argamassa de referência.

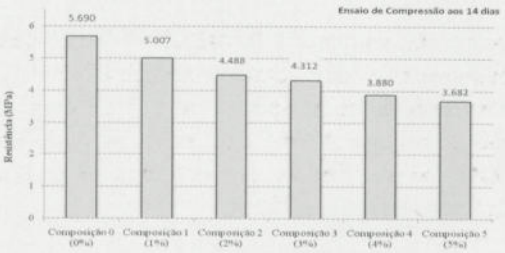


Figura 2: Ensaio de resistência à compressão aos 14 dias.

4.1.2 Resistência à flexão

A Figura 3 apresenta os resultados de resistência à flexão obtidos para a argamassa de referência, com 0% de fibra, e para as argamassas em estudo com 1%, 2%, 3%, 4% e 5% de teor de fibra de Sisal.

Constata-se que a adição de fibras na argamassa aumenta a resistência à flexão de aproximadamente 80% aos 14 dias de idade, para o teor de 5% de fibra de Sisal.

Para as misturas realizadas, o teor de 5% de fibras foi o máximo possível para garantir a trabalhabilidade desejada.

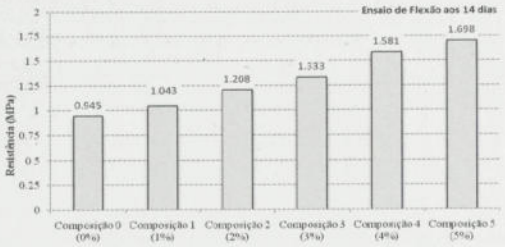


Figura 3: Ensaio de resistência à flexão aos 14 dias.

5 Conclusões

Os principais estudos revelam essencialmente uma melhoria do comportamento dos rebocos sujeitos a acções de flexão, sendo que, quando sujeitos a esforços de compressão, as argamassas demonstraram menor resistência que as argamassas sem adição de fibras.

Nos estudos laboratoriais desenvolvidos aos 14 dias de cura da argamassa, obteve-se aumentos da resistência à flexão da ordem de 80% para um teor de fibras de 5% em função do peso de ligante. A diminuição da resistência à compressão, registada para esse teor, foi apenas de 35%, situando-se ainda em valores aceitáveis para uma argamassa de reboco.

No entanto, neste tipo de argamassas, a importância da resistência à flexão é superior à da resistência à compressão, dai concluir-se que a adição de fibras de Sisal é altamente benéfica no que toca as características dos rebocos, conduzindo à diminuição e dissipação da sua fissuração bem como a um melhor comportamento na sua ruptura quando sujeitos a esforços excessivos provenientes da alvenaria.

6 Referências bibliográficas

[1] Veiga, Maria do Rosário, *Comportamento de argamassas de revestimento de paredes. Estudo da sua resistência à fendilhação*, 1998.

[2] Caetano, L.F.; Graeff, A. G.; Garcez, E. O.; Bernardi, S. T.; Filho, L. C. P. Silva, *Compósito de Matriz Reforçada com Fibras*, 2004

[3] Lima, Paulo Roberto Lopes, *Análise Teórica e Experimental de Compósitos Reforçados com Fibras de Sisal*, Lisboa, 2004

[4] Brescansin, Janaína, *Comportamento à Fratura de Compósitos de Matriz Cimentícia Reforçada com Polpa de Bambu*, Rio de Janeiro, 2003.

[5] Normas Portuguesas EN 196-1 - *Métodos de ensaios de cimentos, Parte 1: Determinação das resistências mecânicas*, 1996

ARGAMASSAS DE CAL AÉREA COM RESÍDUOS DE CERÂMICA DE BARRO VERMELHO

Gina Matias*
Gina_lourenco@sapo.pt

Maria Isabel Torres†
itorres@dec.uc.pt

Paulina Faria‡
paulina.faria@estbarreiro.ips.pt

Resumo

As argamassas de edifícios antigos possuem, na generalidade, cal como ligante e podem conter produtos que lhes confiram determinadas propriedades, como é o caso de resíduos de cerâmica de barro vermelho, em granulometria fina ou grossa. Em granulometria fina, os resíduos cerâmicos podem desempenhar a função de pozolana, uma vez que a sílica e alumina abundantes no material podem reagir com o hidróxido de cálcio da cal, desenvolvendo silicatos e aluminatos de cálcio hidratados. Em granulometria grossa, os resíduos desempenham a função de agregado, com características específicas.

Deparamo-nos frequentemente com patologias graves provocadas pela incompatibilidade entre os suportes antigos e as argamassas existentes, com as argamassas de substituição ou de reparação aplicadas. É importante ter consciência, não só da funcionalidade de uma argamassa, mas também do desempenho do conjunto.

O recurso a resíduos de cerâmica de barro vermelho poderá trazer vantagens a nível económico, ambiental e técnico, na medida em que induz o reaproveitamento desse subproduto industrial e consequente redução da sua deposição em aterro, e a possibilidade de produção de argamassas com bom desempenho para aplicação na reabilitação de edifícios antigos.

Neste sentido, apresenta-se um trabalho experimental desenvolvido para compreender a influência dos resíduos de cerâmica de barro vermelho no comportamento de argamassas de cal aérea.

Palavras-chave: Argamassa, Caracterização, Cerâmica de Barro Vermelho, Pozolana, Resíduo, Cal Aérea, Agregado.

* Mestre, Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra.

† Professora Auxiliar, Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra.

‡ Professora Coordenadora, Escola Superior de Tecnologia do Barreiro do Instituto Politécnico de Setúbal.

1 Introdução

As argamassas aplicadas em sistemas de reboco, no revestimento de paredes, têm um papel fundamental relativamente ao desempenho funcional dos edifícios. Elas conferem protecção às alvenarias e devem conferir uma regularidade e um acabamento tal que resulte um aspecto visualmente confortável. Nos edifícios antigos, é frequente observarem-se patologias graves devidas a erros de reparação, relacionados com incompatibilidade entre as argamassas pré-existentes ou os suportes e as argamassas de substituição ou reparação. Uma solução pouco adequada pode levar ao destacamento da argamassa de substituição e até degradar, quer o suporte, quer a argamassa pré-existente. Esta situação é muitas vezes devida às distintas permeabilidades ao vapor de água e a diferentes deformabilidades e resistências mecânicas entre os materiais existentes e as novas argamassas.

Antigamente, às argamassas de cal aérea, eram, muitas vezes, adicionadas substâncias que lhes conferiam determinadas características. As pozolanas, as adições mais frequentes, possibilitavam que as argamassas desenvolvessem propriedades hidráulicas, melhorando, em determinados aspectos, o desempenho das mesmas. O tipo de pozolana utilizado era determinado sobretudo pelos materiais disponíveis em cada região, podendo estas ter origem natural ou artificial. As pozolanas naturais provêem de rochas vulcânicas ou sedimentares, meteorizadas, e o único tratamento que sofrem é a moagem. As pozolanas artificiais resultam essencialmente de rochas argilosas sujeitas a tratamento térmico (caso dos metacaulinos) ou de subprodutos industriais ricos em sílica e/ou alumina no estado não cristalino (caso de cinzas volantes, de cinzas de casca de arroz, de resíduos de cerâmica de barro vermelho). Por outro lado, a utilização de grânulos de cerâmica de barro vermelho como agregado possibilita uma boa ligação com a pasta de ligante e ainda o desenvolvimento de outras características específicas nas argamassas, como seja o caso de introdução de ar e aligeiramento das argamassas.

No caso das argamassas de cal, sabe-se que, pelo menos desde o período Romano, era frequente o uso de cerâmica de barro vermelho (casos de Conímbriga ou de Tróia).

Sabendo que cerca de 30% do produto resultante da indústria cerâmica é considerado desperdício, o seu aproveitamento como matéria-prima em argamassas de cal aérea pode traduzir-se em vantagens, quer a nível técnico, por melhorar as características das argamassas, quer a nível económico e ambiental, por se aproveitar um material que, à partida, não teria uma reutilização tão nobre e por se reduzir consideravelmente o material depositado em aterro [1]. Usada como pozolana, a cerâmica de barro vermelho, cozida a temperaturas inferiores a 900 °C e finamente moída, pode reduzir a quantidade de ligante utilizado na composição das argamassas, o que é também uma vantagem ao

nível ambiental e em termos de sustentabilidade na construção. O uso deste subproduto como agregado constituinte das argamassas traz também vantagens económicas e ambientais, visto que reduz a necessidade de extracção de areias e rochas.

Tendo em conta que grande parte do edificado antigo necessita de intervenções urgentes, pelo menos ao nível dos rebocos de revestimento exterior das paredes e do tratamento de juntas expostas, constata-se a grande importância que o desenvolvimento deste tipo de materiais pode representar.

O objectivo do estudo apresentado foi analisar o comportamento de argamassas de cal aérea com resíduos de tijolo de barro vermelho, funcionando quer como pozolana, quer como agregado. As argamassas estudadas são constituídas por resíduos de tijolo, finamente moído, de forma a poder actuar como pozolana, reagindo com a cal aérea, ou com uma moagem grosseira, com granulometria semelhante à da areia utilizada, e em substituição parcial da mesma. Os resultados obtidos são comparados entre si e com os de argamassas de controlo, unicamente de cal aérea e areia ou de cimento e areia, e também com estudos de alguma bibliografia relativa ao assunto abordado. Foram determinadas propriedades físicas e mecânicas.

Com este estudo pretende-se alargar o conhecimento acerca de argamassas compatíveis e eficientes para edifícios antigos, recorrendo a técnicas e materiais actualmente menos comuns, e incentivar o uso de resíduos industriais, com vista a contribuir para o desenvolvimento sustentável na construção [2].

2 Desenvolvimento experimental

2.1 Matérias-primas

Foi usada a mesma areia de rio em todas as misturas, caracterizada em termos da sua granulometria, de acordo com a norma NP EN 933-1 (2000). Determinou-se o respectivo módulo de finura (Mf) e a curva granulométrica da areia (para, através da moagem do resíduo de tijolo, fazer a sua correcta distribuição, por dimensões das partículas, de forma que a granulometria usada deste subproduto fosse semelhante à da areia usada). O tijolo foi moído num moinho de martelos e separado por peneiração. O resíduo mais fino resultante da peneiração foi considerado como potencial pozolana e o mais grosso (semelhante à areia) utilizado como agregado. Nas argamassas em estudo utilizou-se como ligante cal viva micronizada e cimento (CEM II/B-L 32,5N) para uma das argamassas de controlo.

2.2 Preparação das argamassas e provetes

Os provetes foram preparados hidratando a cal viva micronizada por adição de água. Depois de reduzida a temperatura (o processo de hidratação da cal é

fortemente exotérmico), adicionaram-se a areia e os resíduos de tijolo. Mantiveram-se as condições de execução em todas as argamassas e procurou-se uma trabalhabilidade comparável. Todos os provetes foram executados em idênticas condições e conservados à temperatura de 22 °C e humidade relativa de 50 ± 5%. Na Tabela 1 apresentam-se as composições das argamassas estudadas, bem como as proporções volumétricas e ponderais.

Tabela 1: Traço ponderal e traço volumétrico das composições estudadas.

	Traço Ponderal	Traço Volumétrico
A (ca:ar1,5)	1:3	1:1,46
B (ci:ar3)	1:4	1:3,03
C (ca:pt:ar1,5)	1:0,5:3	1:0,44:1,46
D (ca:gt:ar1)	1:1:2	1:0,73:0,98
E (ca:pt:gt:ar1)	1:0,5:1:2	1:0,44:0,73:0,98
F (ca:ar3)	1:6,14	1:3
G (ci:ar4)	1:5,29	1:4
H (ca:pt:ar3)	1:0,57:6,14	1:0,5:3
I (ca:gt:ar2)	1:1,37:4,10	1:1:2
J (ca:pt:gt:ar2)	1:0,57:1,37:4,10	1:0,5:1:2

ca – cal; ar – areia; pt – pó de tijolo; gt – grãos de tijolo; ci – cimento

2.3 Procedimento experimental, resultados e discussão

2.3.1 Permeabilidade ao vapor de água

A permeabilidade ao vapor de água foi determinada de acordo com a norma EN ISO 12572:2001, tendo em conta alguns dos aspectos mencionados na norma EN 1015-19:2000 e na Fe 05 UNL/DEC [3].

Para algumas das argamassas foram efectuados ensaios aos 30 e aos 60 dias, para aferir a representabilidade dos resultados do ensaio a idade mais jovem (visto que o processo de carbonatação das argamassas é lento e a reactividade pozolânica também não se desenvolve muito rapidamente).

Na Tabela 2 é apresentada uma síntese dos resultados obtidos nos ensaios de argamassas endurecidas. Os provetes D e E foram os que apresentaram os valores mais elevados de permeabilidade ao vapor de água. O valor mais baixo é referente aos provetes de argamassas de cimento, cuja resistência à difusão do vapor é cerca do dobro das restantes argamassas. Verifica-se que a permeabilidade ao vapor de água, de um modo geral, tende a diminuir apenas ligeiramente ao longo do tempo. Considera-se, de entre os resultados das argamassas com resíduos de tijolo, que aquela que apresentou melhor desempenho neste factor terá sido a argamassa E, com agregado de tijolo e pó de tijolo na sua composição.

2.3.2 Absorção de água por capilaridade

A absorção de água por capilaridade foi determinada usando uma das metades de cada provete resultantes do ensaio de resistência à flexão. Recor-

reu-se à ficha de ensaio Fe 06 UNL/DEC [3] e ainda a algumas indicações da norma EN 1015-18 (2002). Os resultados são apresentados na Tabela 2. De acordo com os resultados, as argamassas D e E têm um coeficiente de absorção por capilaridade superior às restantes. B e G são as misturas que apresentam os resultados mais baixos, tal como seria de esperar para argamassas de cimento. A argamassa que absorveu mais água por capilaridade foi a C, com pó de tijolo na sua composição. Verificou-se que as argamassas de cal absorveram uma quantidade elevada de água, por acção da capilaridade e registaram velocidades iniciais de absorção muito rápidas. No entanto, as argamassas H e I destacam-se por demonstrarem um bom comportamento relativamente às restantes. Ambas as misturas mencionadas contêm ou pó de tijolo, ou grãos de tijolo, com quantidades de ligante inferiores. Relativamente à totalidade de água absorvida, as argamassas F, I e J registaram um desempenho razoável, o que pode estar relacionado com as quantidades de grãos de tijolo ou pó de tijolo (I e J) e com a quantidade de agregado na mistura (F). No geral, as argamassas com maior quantidade de ligante apresentaram pior desempenho.

Tabela 2: Síntese dos resultados dos ensaios.

Arg.	Caract. mecânicas			Permeab. vapor de água				Absorção capilar	
	60 dias			30 dias		60 dias		60 dias	
	E	R_t	R_c	δ ($x10^{-11}$)	μ	δ ($x10^{-11}$)	μ	C	CA
	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[kg/(m.s.Pa)]		[kg/(m.s.Pa)]		[kg/(m^2.min$^{0.5}$)]	[kg/m^2]
A	6150	0,55	0,55	1,76	11,09	1,62	12,06	6,05	0,38
B	11944	2,64	6,48	0,98	20,15	1,08	18,08	1,29	0,08
C	6186	0,33	0,30	1,74	10,99	1,60	12,23	6,12	0,12
D	5738	0,34	0,45	1,90	10,30	1,74	11,29	6,41	0,29
E	6090	0,34	0,32	1,99	9,90	1,85	10,62	6,75	0,08
F	7317	0,34	0,44	-	-	1,54	12,70	5,38	0,13
G	12212	2,13	5,47	-	-	1,21	16,12	1,02	0,05
H	7021	0,43	0,66	-	-	1,64	11,90	2,45	0,18
I	6370	0,36	0,48	-	-	1,59	12,24	2,91	0,15
J	7144	0,48	0,23	-	-	1,41	13,82	3,45	0,35

δ - Permeabilidade ao vapor de água; μ – Factor de resistência ao vapor de água; C – Coeficiente de absorção de água por capilaridade; CA – Quantidade de água absorvida; E – Módulo de elasticidade dinâmico; R_t – Resistência à flexão, R_c – Resistência à compressão

2.3.3 Resistência à flexão e compressão. Módulo de elasticidade dinâmico

O módulo de elasticidade dinâmico de cada uma das argamassas foi determinado recorrendo a um equipamento que tem como princípio a propagação de ultra-sons através do material [4]. Com os mesmos provetes, determinou-se a resistência à flexão por apoio em três pontos e com cada uma das metades resultantes, a resistência à compressão. Para determinação da resistência à flexão e compressão, recorreu-se às indicações da norma EN 1015-11 (1999). Todas as argamassas de cal apresentaram valores bastante reduzidos de resistência à flexão e compressão. As misturas C, D e E apresentaram os menores

valores de resistência à flexão e C, E e J de resistência à compressão. Como tal, poderá afirmar-se que as argamassas C e E têm um pior desempenho global relativamente às características mecânicas. Quanto ao módulo de elasticidade dinâmico, os valores obtidos para as argamassas de cal foram superiores ao esperado. Considerou-se que os valores aceitáveis para resistências à flexão e compressão estariam entre 0,2 e 0,7 MPa e 0,4 e 2,5 MPa, respectivamente. Relativamente à flexão, todas as argamassas de cal apresentaram valores dentro do intervalo. As argamassas C, E e J apresentaram valores de resistência à compressão inferiores aos indicados. No entanto, no geral, os valores obtidos de resistência à compressão foram bastante reduzidos. Considerou-se que as argamassas que apresentaram melhores características mecânicas globais foram A, H e I.

No global, as argamassas H e I demonstraram ter melhor comportamento físico e mecânico, o que indicia que as argamassas com traço volumétrico de 1:3 de cal e agregado, com pó de tijolo ou grão de tijolo em substituição parcial da areia, podem ser viáveis como argamassas de substituição.

3 Conclusões

Foi possível verificar que o uso de resíduos de tijolo como constituinte de argamassas de cal aérea tem viabilidade e apresenta vantagens a vários níveis. Verificou-se que, em proporções adequadas de cal, pó e/ou grãos de tijolo e areia, as argamassas de revestimento podem registar um bom desempenho como argamassas de substituição.

No entanto, considera-se que a análise realizada não é suficiente, pelo que está em curso a avaliação de outros parâmetros de caracterização, bem como de outro tipo de misturas e materiais.

Salienta-se ainda o facto das características das argamassas dependerem do tipo de suporte no qual vão ser aplicadas, das condições ambientais e de aplicação, questões que também terão de ser tidas em consideração.

4 Referências Bibliográficas

[1] Binici, H. *Effect of crushed ceramic and basaltic pumice as fine aggregates on concrete mortars properties*, Construction and Building Materials 21 (2007), pág. 1191–1197, Elsevier Ltd., 2006.

[2] Matias, G. *A influência de resíduos de tijolo no comportamento de argamassas de cal.* Dissertação de Mestrado em Eng. Civil, Universidade de Coimbra, 2008.

[3] Faria Rodrigues, P. *Argamassas de revestimento para alvenarias antigas – contribuição para o estudo da influência dos ligantes*. Tese de Doutoramento, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2004.

[4] Montoya, P, Meseguer, A., Cabre F. *Hormigón armado – Tomo I.* 8ª Edition, Gustavo Gili, Barcelona, 1976.

DIAGNÓSTICO DAS DETERIORAÇÕES DO BETÃO DO VIADUTO DA VIA RÁPIDA

Andreia Mota Miranda*
andreiamotamiranda@gmail.com

Madalena Teles†
mteles@fe.up.pt

Resumo

O objectivo do presente trabalho é o de fazer um estudo petrográfico das deteriorações do betão do viaduto da Via Rápida, localizado no porto de Leixões.

Após a recolha e análise de toda a informação sobre as características dos materiais usados nos diferentes betões e suas composições e propriedades, foram efectuadas várias visitas ao viaduto, para inspecção visual da estrutura, levantamento fotográfico das anomalias encontradas e extracção de amostras representativas quer do betão aparentemente não deteriorado quer do betão visivelmente deteriorado, assim como de manchas, escamas e eflorescências.

Do betão aparentemente não deteriorado realizaram-se ensaios de determinação da resistência à compressão, da porosidade às 48 horas, da profundidade de carbonatação e da penetração de cloretos. No presente trabalho fez-se um estudo petrográfico detalhado do betão e suas deteriorações.

Palavras-chave: Betão, Deteriorações do Betão, Petrografia, Durabilidade.

1 Introdução

O viaduto da Via Rápida, localiza-se a cerca de 1 km de distância do mar e está inserido na Via Rápida que dá acesso, a Sul, à entrada na cidade do Porto e, a Norte, à auto-estrada A28. Esta obra, realizada entre 1 de Dezembro de 1956 e 10 de Janeiro de 1961, foi sujeita, ao longo dos anos, a algumas reparações e alterações: em 1974, foram substituídas as juntas de dilatação, em 1983, realizou-se um reforço das fundações e finalmente, entre 1999 e 2001, procedeu-se a uma reabilitação da obra, com alargamento das faixas de rodagem, substituição de aparelhos de apoio e juntas de dilatação e reparação dos pórti-

* Mestre em Engenharia Civil pela FEUP. Departamento de Subempreitadas, Novopca – Construtores Associados, SA.

† Prof.ª Associada da FEUP. Departamento de Engenharia Civil. Secção de Materiais de Construção.

cos de betão. O tratamento dos pórticos em betão armado consistiu na limpeza do betão e armaduras, na pintura das armaduras com tinta epoxy e na reconstrução do betão com uma argamassa de reparação [1].

O viaduto, de comprimento total 405,71 m, é constituído por uma laje de betão armado que apoia em longarinas de betão pré-esforçado simplesmente apoiadas e tornadas solidárias por carlingas. Os tramos intermédios das vigas apoiam-se em pórticos transversais de betão armado e cada um dos tramos extremos apoia-se num destes pórticos e em encontros de betão armado ou de betão armado e betão ciclópico. As fundações são em geral, sobre estacas de betão armado pré-fabricadas encabeçadas em maciços de betão armado. As fundações dos pórticos do tramo sobre o rio Leça são constituídas por três caixões celulares solidarizados por uma viga sapata de betão armado.

Presentemente, durante de inspecções efectuadas à obra, apesar do betão do viaduto apresentar um bom estado de conservação, detectaram-se algumas anomalias. Assim, os pórticos em betão armado exibiam eflorescências esbranquiçadas, amareladas e escuras e colonização biológica. As longarinas e carlingas em betão pré-esforçado apresentavam, apenas pontualmente, manchas acastanhadas e destacamentos de betão. Apareciam também excrementos de pombo em quantidades apreciáveis. A laje do tabuleiro em betão armado mostrava, em geral, eflorescências esbranquiçadas, escuras e algumas manchas acastanhadas e destacamentos de betão. Dos caixões da fundação dos pórticos adjacentes ao rio Leça, em betão simples, apenas um exibia uma fissuração aleatória, com fendas ainda de pequena abertura. Os encontros apresentavam algumas eflorescências brancas, amareladas e escuras. Na Figura 1 apresentam-se fotografias de algumas destas deteriorações.



Eflorescências esbranquiçadas, amareladas e escuras e colonização biológica num pórtico



Destacamentos de betão numa longarina



Excrementos de pombo numa longarina

Figura 1: Algumas das deteriorações encontradas.

Com o objectivo de, por um lado, fazer o diagnóstico das deteriorações observadas e, por outro, avaliar o estado do betão da estrutura, recolheram-se amostras de betão aparentemente não deteriorado e de betão visivelmente deteriorado, assim como de manchas, escamas e eflorescências para ser observadas e analisadas por microscopia electrónica de varrimento (MEV). Nas amostras de betão aparentemente não deteriorado determinaram-se a resistência à com-

pressão, a porosidade às 48 horas, a profundidade de penetração da carbonatação e o teor em cloretos a 5 mm de profundidade.

2 Ensaios realizados

Determinou-se a resistência à compressão média de dois provetes retirados de uma única carote e foi feita a conversão em tensão em cubos de 15 cm de aresta, tendo-se obtido o valor médio de 34,8 MPa [1]. Este valor é muito semelhante ao valor obtido nos ensaios realizados durante a construção da obra.

A porosidade às 48 horas determinada segundo a metodologia proposta pelo Laboratoire de Pétrophysique do Centre de Géochimie de la Surface de Strasbourg [1] foi de 6,06%, valor compatível com um betão de boa qualidade.

A determinação da profundidade de carbonatação foi realizada recorrendo ao uso de uma solução alcoólica de fenolftaleína a 1%, tendo-se obtido valores diferentes consoante a localização de cada tarolo. O mesmo aconteceu com a determinação do teor em cloretos a 5 mm de profundidade [1]. Os resultados destes ensaios apresentam-se no Quadro 1.

Quadro 1: Resultados da determinação da profundidade de carbonatação e do teor em cloretos.

Localização	Profundidade de carbonatação (mm)	Teor de cloretos na massa de cimento (%)
Pilar	0	0,08
Carlinga orientada a Norte	5	0,07
Carlinga orientada a Sul	5	0,07
Lintel	2	0,16

A amostra do pilar revestida com uma argamassa de reparação não se apresentou carbonatada, revelando que o tratamento foi eficaz. As amostras, sem tratamento, das carlingas e do lintel apresentavam-se pouco carbonatadas. A profundidade de carbonatação atingida nos betões é muito pequena, muito inferior à espessura de recobrimento, que no pior dos casos é de 20 mm [1].

Os resultados da determinação do teor de cloretos em amostras retiradas das carotes, a cerca de 5 mm de profundidade, revelaram não ser necessário efectuar medidas a profundidades superiores, uma vez que, para os valores obtidos, o risco de corrosão é desprezável ou baixo [1]. Não é possível fazer a análise comparativa entre os valores obtidos, dado que se desconhece o valor total de cloretos no betão, na altura da execução da obra.

Estes resultados mostram um betão com uma composição muito boa, uma vez que para resistências da ordem dos 30 MPa, apresenta baixas porosidades e pequenas profundidades de penetração quer da carbonatação quer dos cloretos.

3 Análise petrográfica do betão

Nas observações por MEV, realizadas no Centro de Materiais da Universidade do Porto (CEMUP), recorreu-se a um microscópio, modelo Jeol JSM-6301F, equipado com microanálise por raios-X (Oxford Inca Energy 350). As amostras foram revestidas a ouro e observadas e analisadas por electrões secundários a 10 e 15 keV e por períodos de tempo útil de 60 segundos.

Para facilitar a análise global das amostras estudadas por MEV apresentam-se no Quadro 2 os principais compostos identificados em todas as amostras, excluindo os agregados, e na Figura 2 algumas imagens e espectros.

A análise global dos betões, aparentemente, sem deteriorações revelou serem betões de boa qualidade e compactos. As observações de carbonato de cálcio estão, em todos os betões, coerentes com os resultados do ensaio da profundidade de carbonatação.

Os tarolos das duas carlingas apresentavam um revestimento superficial muito aderente, com cerca de 0,5 mm de espessura. As observações e análises das amostras VR5 e VR6 revelaram que este revestimento era constituído essencialmente por gesso, exibindo raramente cinzas volantes porosas, ricas em carbono e enxofre, permitindo classificá-lo como crosta negra, deterioração de materiais característica das zonas urbanas e/ou industriais.

Além dos betões sem deteriorações visíveis, analisaram-se ainda betões aparentemente degradados, manchas, escamas e eflorescências.

Os betões extraídos de destacamentos exibiam muito carbonato de cálcio, e as manchas encontradas, junto destes betões, eram todas de óxidos de ferro, revelando que os destacamentos e fissuras têm origem na formação de produtos expansivos resultantes da corrosão das armaduras.

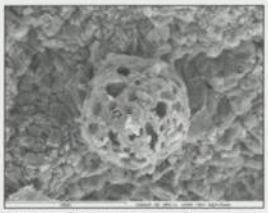
A amostra extraída sobre a fissuração aleatória, encontrada no caixão do viaduto da Via Rápida, revelou a presença de uma reacção sulfática por contaminação das águas do rio Leça [1].

O betão sob dejectos de pombos não mostrou qualquer reacção química, o que não permite generalizar que os dejectos de pombos não afectam o betão, dado que, nestas obras os excrementos só foram encontrados em zonas secas e protegidas.

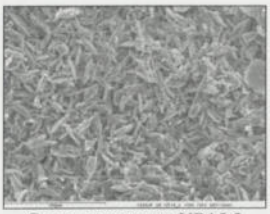
As manchas e escamas acastanhadas são de óxidos de ferro, resultantes da corrosão do aço, enquanto que as manchas escuras de cor negra ou esverdeada, com muita matéria orgânica, resultam da humidade. As manchas brancas e amareladas, essencialmente constituídas por carbonato de cálcio, têm origem na lixiviação dos hidróxidos do betão, com carbonatação à superfície.

Quadro 2: Compostos identificados no estudo petrográfico.

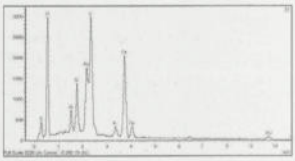
Designação da amostra		Tipo de amostra e sua localização		Principais compostos identificados
VR1 e VR3		Betão de pilar com revestimento	Betão	Silicatos e aluminatos de cálcio VR1 – Carbonato de cálcio (cristais em muito pequenas quantidades) VR3 – Carbonato de cálcio (muito pequenas quantidades não se tendo individualizado cristais)
VR5	VR 5.1	Betão de carlinga, orientado a norte, com revestimento aparente	Betão superficial	Silicatos e aluminatos de cálcio Carbonato de cálcio (muitos cristais)
	VR 5.2		Betão a 5mm	Silicatos e aluminatos de cálcio Carbonato de cálcio (individualizaram-se cristais, mas com quantidade de C inferior a VR5.1)
	VR 5.3			
VR6	VR 6.1	Betão de carlinga, orientado a sul, com revestimento aparente	Revestimento	Gesso
			Betão superficial	Silicatos e aluminatos de cálcio Carbonato de cálcio (não se individualizaram cristais)
	VR 6.2		Betão a 5mm	Silicatos e aluminatos de cálcio Carbonato de cálcio (não se individualizaram cristais e a quantidade de C é inferior a VR6.1)
	VR 6.3		Betão a mais de 5mm	Silicatos e aluminatos de cálcio Carbonato de cálcio (não se individualizaram cristais e a quantidade de C é inferior a VR6.2)
VR10		Betão extraído do caixão central do pórtico adjacente ao Rio Leça		Silicatos e aluminatos de cálcio Carbonato de cálcio (muito) Etringite
VR11		Eflorescência escura do encontro norte		Matéria orgânica Diatomácias
VR12		Mancha escura do encontro norte		Matéria orgânica Diatomácias
VR15		Betão de um destacamento de longarina com mancha escura	Mancha acastanhada	Óxido de ferro
			Betão	Silicatos e aluminatos de cálcio Carbonato de cálcio (muito) Gesso
VR16		Eflorescência esbranquiçada de laje	Mancha acastanhada	Óxido de ferro Gesso
			Betão	Silicatos e aluminatos de cálcio Carbonato de cálcio (muito) Gesso
VR17		Betão de um destacamento da laje		Silicatos e aluminatos de cálcio Muito carbonato de cálcio. Gesso.
VR18		Escamas acastanhadas de longarina		Silicatos e aluminatos de cálcio Óxido de ferro Gesso
VR19		Eflorescência amarelada de viga de um pórtico		Silicatos e aluminatos de cálcio Carbonato de cálcio (muito)
VR20		Eflorescência escura de viga de um pórtico		Silicatos e aluminatos de cálcio Carbonato de cálcio Matéria orgânica
VR21		Eflorescência esverdeada de viga de um pórtico		Silicatos e aluminatos de cálcio Carbonato de cálcio Matéria orgânica Diatomácias
VR22		Eflorescência branca de viga de um pórtico		Silicatos e aluminatos de cálcio Carbonato de cálcio (muito)
VR23		Betão sob dejectos de pombo numa carlinga		Silicatos e aluminatos de cálcio Carbonato de cálcio
VR24		Dejectos de pombo de carlinga		Fosfato de magnésio N, C, O, K, Na



Cinza volante porosa rica em carbono e enxofre sobre gesso da amostra VR6



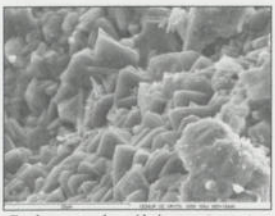
Gesso na amostra VR15.2



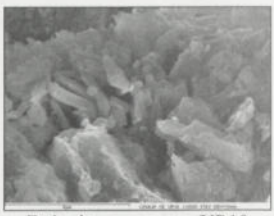
Espectro do gesso da amostra VR15.2



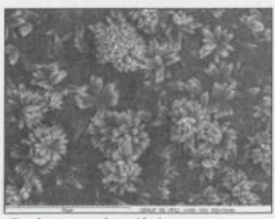
Óxidos de ferro na amostra VR17



Carbonato de cálcio na amostra VR17



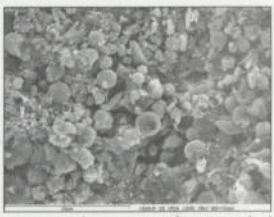
Etringite na amostra VR10



Carbonato de cálcio na amostra VR19



Matéria orgânica na amostra VR21



Compostos ricos em carbono, oxigénio e azoto contendo também potássio e sódio da amostra VR24

Figura 2: Algumas imagens e espectros do betão aparente são e das deteriorações.

4 Conclusões

O estudo petrográfico do betão em conjugação com os ensaios físicos e mecânicos mostra-se um instrumento de inegável interesse na análise das deteriorações do betão.

Este estudo permite concluir que o betão é de boa qualidade, com pequenas profundidades de carbonatação e de penetração de cloretos, desconhecendo-se se as crostas negras protegem o betão da acção do dióxido de carbono.

Além da corrosão das armaduras, ainda com pouco significado, verificou-se uma reacção sulfática muito incipiente no caixão da fundação.

5 Bibliografia

[1] Mota-Miranda, A. *Influência da proximidade do mar em estruturas de betão.* Dissertação de Mestrado, FEUP, 2006.

A ARGAMASSA DE REVESTIMENTO E O SEU EFEITO RETARDADOR NA PENETRAÇÃO DE CLORETOS NO BETÃO: INFLUÊNCIA DA DOSAGEM

Raphaele de Lira Meireles de Castro Malheiro[*]
raphaelelira@yahoo.com.br

Munique Silva de Lima[†]
munique10@gmail.com

Gibson Rocha Meira[‡]
gibson@jpa.neoline.com.br

Normando Perazzo[§]
nperazzo@yahoo.com.br

Resumo

Considerando que grande parte das estruturas de betão armado inseridas em ambientes de influência marinha possuem revestimento externo e, ainda levando em consideração, a carência de estudos que abordem o "revestimento argamassado x proteção do betão", optou-se por estudar a relação entre a dosagem das argamassas de revestimento externo e a sua influência na proteção da estrutura de betão revestida. Para tanto foram moldados corpos-de-prova (CP) de betão que foram revestidos com três diferentes dosagens de argamassa. Os CP foram submetidos a ensaios acelerados de imersão/secagem em solução de NaCl. Ao final dos ensaios, foram obtidos perfis de Cl^-, através de amostras extraídas dos CP. A análise dos perfis indica que as argamassas de revestimento aplicadas sobre um substrato de betão podem exercer um papel protetor complementar sobre estas estruturas, em relação ao transporte de Cl^-. Observa-se também que, independente da dosagem de argamassa utilizada, há um acúmulo de Cl^- na interface argamassa-betão, seguido de uma redução no teor de Cl^- no betão.

Palavras-chave: Argamassa, Dosagem, Cloretos, Betão, Revestimento.

1 Introdução

A degradação de estruturas de betão armado por corrosão de armaduras tem, na ação dos íons cloreto, o fenômeno mais devastador que atinge as estruturas de betão usual [1].

[*] Mestranda, Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana - UFPB.
[†] Aluna, Curso Superior de Tecnologia em Construção de Edifícios - CEFET-PB.
[‡] Professor Doutor, Departamento de Construção de Civil - CEFET-PB.
[§] Professor Titular, Departamento de Engenharia Civil - UFPB.

Vários autores têm estudado a ação dos Cl- sobre estruturas de betão armado sem revestimento [2, 3, 4, 5, 6, 7]. Porém, a grande maioria das obras de betão armado inseridas no perímetro urbano tem a utilização do betão aliada a vários tipos de revestimento.

O transporte por difusão em materiais com características de transporte diferentes entre a superfície e o interior é ainda pouco estudado. Tomando como base o efeito pele, Andrade et al. [8] propuseram as Equações 1-3 como solução para este tipo de transporte. No entanto, esse trabalho se insere no campo das simulações.

$$C_1 = C_s \sum_{n=0}^{\infty} \alpha^n \left(erfc\left[\frac{2ne+x}{2\sqrt{D_1 t}}\right] - \alpha erfc\left[\frac{(2n+2)e-x}{2\sqrt{D_1 t}}\right]\right) \quad (1)$$

$$C_2 = \frac{2kC_s R}{k+1} \sum_{n=0}^{\infty} \alpha^n erfc\left[\frac{(2n+1)e+k(x-e)}{2\sqrt{D_1 t}}\right] \quad (2)$$

$$C_1 = RC_2 \quad (3)$$

em que:

C_1 — concentração de cloretos na camada mais externa;
C_2 — concentração de cloretos na camada interior;
D_1 — coeficiente de difusão da camada mais externa;
D_2 — coeficiente de difusão da camada interior;
C_S — concentração superficial;
R — resistência entre as duas camadas;
x — profundidade em estudo;
t — tempo em estudo.

O presente trabalho se propõe a estudar, de modo experimental, a relação entre o transporte de Cl^- em argamassas de revestimento e a sua influência na proteção da estrutura revestida, permitindo assim análises mais próximas da realidade.

2 Metodologia

Os corpos de prova (CP) utilizados na pesquisa foram desenvolvidos com o objetivo de simular, em laboratório, o uso do revestimento argamassado externo das edificações. Para tanto, a confecção destas amostras se deu em três etapas: moldagem do substrato (betão), execução da ponte de aderência (chapisco) e aplicação do revestimento ao substrato (argamassa). Também foram mol-

dados CP de referência em betão com o objetivo de promover futuras comparações com os CP revestidos.

Foram moldados substratos, prismáticos, nas dimensões 8x8x8 cm, utilizando cimento brasileiro CP V ARI (apenas 5% de adições), relação água/cimento 0,55 e impondo um período de cura ao ar de 120 dias (praticas frenqüentemente utilizadas na cidade de João Pessoa - Paraíba - Brasil). Em seguida, foram chapiscados e receberam argamassa de revestimento com espessura de 2,5 cm e em três dosagens: 1:3, 1:1:6 e 1:2:9 (volume), empregando cal CHI.

Para cada situação, foram moldados 3 CP. Passados 28 dias de repouso, após a aplicação da argamassa, os CP receberam uma pintura epóxi, deixando apenas uma de suas faces livre para a penetração de Cl^- durante o ensaio acelerado. Estes CP foram submetidos a ciclos de imersão/secagem, sendo 3 dias imersos em solução de NaCl (1,0M) e 4 dias secando em ambiente de laboratório. O período total de exposição correspondeu a 7 ciclos. Os CP de referência também foram submetidos às mesmas condições impostas aos CP de sistema duplo (betão + argamassa).

Ao sairem de ensaio, os CP foram pulverizados em camadas de 5 mm no sentido superfície-interior, com espessura reduzida para 0,25 mm, próximo à interface dos CP revestidos, a fim de se obterem resultados mais pormenorizados nesta região. De posse das amostras pulverizadas, os teores de Cl^- totais foram determinados a partir da técnica de titulação potenciométrica, de acordo com a ASTM C1152 [9].

3 Resultados e Discussão

Os perfis de cloretos obtidos nos CP revestidos, através do ensaio de imersão/secagem, são mostrados na Figura 1, onde observa-se uma tendência de formação de picos tênues na região próxima a superfície das argamassas. Tais picos, quando bem definidos, são formações típicas dos ciclos de ganho e perda de umidade na superfície do betão. Considerando que tal formação corresponde apenas a uma tendência, e que a forma interna dos perfis se assemelha aos perfis típicos de difusão, é provável que o transporte por difusão tenha prevalecido nestes ensaios.

O curto espaço de tempo destinado ao período de secagem, associado a elevada umidade relativa (típica da região) a que os CP foram submetidos durante este período, pode ter conduzido a uma secagem apenas parcial e superficial do material, permanecendo o interior do betão com umidade suficiente para alimentar o processo de difusão.

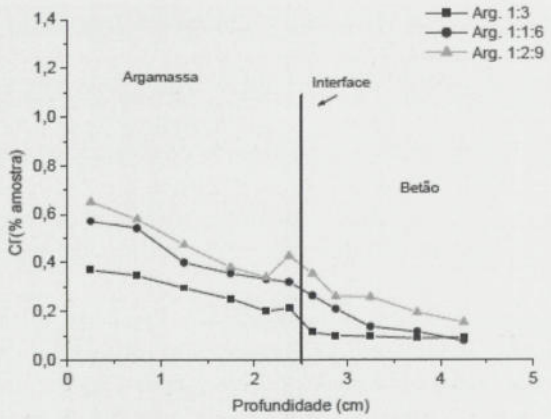


Figura 1: Perfis de cloretos obtido através do ensaio de imersão/secagem.

Os perfis de cloretos apresentados na Figura 1, mostram que, quanto mais rica em cimento é a argamassa, menor é a concentração de cloretos verificada na região do revestimento. Esta relação está intimamente ligada à redução de porosidade das argamassas mais ricas e a maior quantidade de C_3A.

Com relação à porosidade, os resultados dos ensaios de resistência à compressão e absorção total, apontam para um aumento de porosidade da argamassa 1:3 para a 1:2:9. A relação água/cimento é outra variável que corrobora essa idéia, concordando com outros trabalhos publicados [10, 11].

No que se refere ao teor de C_3A, o maior consumo de cimento significa maior quantidade de C_3A disponível para colaborar na fixação dos Cl^- na matriz. Esta maior capacidade de fixação reduz a quantidade de Cl^- livres e, conseqüentemente, gera perfis de Cl^- com concentrações mais amenas.

Com relação à influência dessas diferentes dosagens no transporte de Cl^- no betão, pode-se dizer que as diferenças de comportamento observadas na camada de argamassa possuem influência direta nos resultados obtidos na camada de betão. A Figura 1 mostra que existe uma sintonia entre os perfis de Cl^- na camada de revestimento e aqueles na camada de betão, ou seja, se chegam menos Cl^- na interface entre os materiais, menos serão transportados no interior do betão.

Por outro lado, ajustes baseados na 2ª Lei de Fick, feitos apenas na região do betão, seguindo procedimento descrito por Andrade *et al.* [8], tornam evidente que as argamassas de revestimento estudadas exercem um papel retardador na penetração de cloretos no betão. Esse papel é mais claro, para as argamassas de menor porosidade, conforme mostra a Figura 2a.

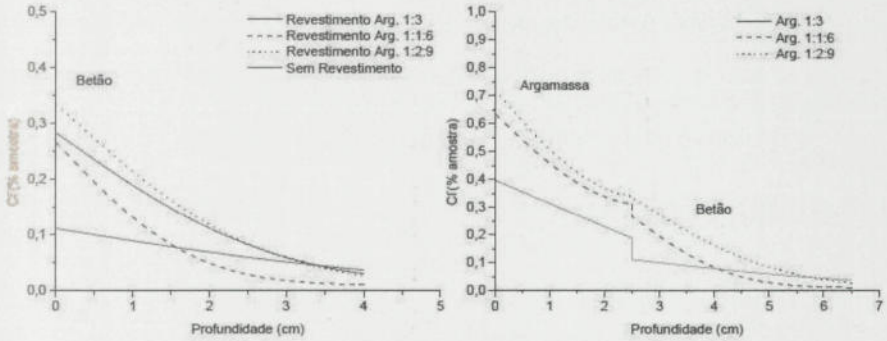


Figura 2a: Perfis de cloretos no betão obtido através do ensaio de imersão/secagem para os corpos-de-prova com revestimento e para os de referência (esquerda).
Figura2b: Perfis de cloretos no CP obtido através do ensaio de imersão/secagem para os corpos-de-prova com revestimento (direita).

Os perfis de Cl^- referentes aos CP em sistema duplo (argamassa e betão), apresentados na Figura 1, apontam a existência de um acúmulo de Cl^- na região imediatamente anterior a interface, seguido de uma redução no teor de Cl^- na região do betão. Esta redução no teor de Cl^-, quando se passa do material argamassa para o material o betão, é vista como um efeito benéfico de resistência à penetração de Cl^- imposto pelas características dos materiais e pode ser visto na Figura 2b, que apresenta os resultados de ajustes realizados com a equações (1 – 3).

4 Conclusão

De uma maneira geral, pode-se dizer, para as argamassas e condições estudadas, que a diferença entre as dosagens das argamassas de revestimento externo influenciam de forma direta no transporte dos íons cloreto no betão. Esta influência é mais acentuada para as argamassas de revestimento mais ricas e menos porosas. Isso mostra que, embora a as argamassas apresentem porosidade superior ao betão, podem representar uma proteção adicional em relação ao retardamento na penetração de cloretos no betão.

Além disso, observa-se a existência de um efeito resistência no transporte de cloretos da argamassa para o betão. Esse efeito é comum a todas as argamassas estudadas e decorre das diferenças na capacidade de transporte de massa de cada um dos materiais estudados.

5 Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsas de estudos.

6 Bibliografia

[1] Aitcin, P. C. *Concreto de Alto Desempenho*, São Paulo: PINI, 2000.

[2] Castro, P. *et al.* Interpretation of Chloride Profiles from Concrete Exposed to Tropical Marine Environments. *Cement and Concrete Research* V31, 2001: 529-537.

[3] Pereira, L. F. L. *et al.* Determinação de Cloretos em Concreto de Cimentos Portland: Influência do Tipo de Cimento. *Boletim Técnico da Universidade de São Paulo*, 2001.

[4] Monteiro, E. B. et al. A Técnica de Extração Eletroquímica de Cloretos – Nova Técnica de Reabilitação de Estruturas com Problemas de Corrosão. *45º Congresso Brasileiro do Concreto*, 2003.

[5] Meira. G. R. *Agressividade por Cloretos em Zona de Atmosfera Marinha Frente ao Problema da Corrosão em Estruturas de* Concreto *Armado.* Tese de Doutoramento, Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.

[6] Silva. F. G. *Estudo de Concreto de Alto Desempenho Frente à Ação de Cloretos.* Tese de Doutoramento, Universidade de São Paulo, 2006.

[7] Lindvall, A. Chloride Ingress Data from Field and Laboratory Exposure – Influence of Salinity and Temperature. *Cement and Concrete Research* V29, 2007: 88-93.

[8] Andrade, C. *et al.* Modelling of Skin Effects on Diffusion Process in Concrete. *Advn Cem Mat* V6, 1997: 39-44.

[9] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS – Standard Test Method for Acid-Soluble Chloride in Mortar and Concrete. ASTM C 1152. *In: Annual Book of Standards*, 1994.

[10] Jensen, O. M. *et al.* Chloride Ingress in Cement Paste and Mortar. *Cement and Concrete Research* V29, 1999: 1497-1504.

[11] Tong, L. & Gjrøv, O. E. Chloride Diffusivity Based on Migration Testing. *Cement and Concrete Research* V31, 2001: 973-982.



SESSÃO XVIII

FACHADAS

FACHADA VENTILADA

Pérdidas Energéticas Derivadas del Sistema de Anclaje

Francisco Javier López Rivadulla[*]
Javier.rivadulla@ua.es

Victor Echarri Iribarren[†]
victor.echarri@ua.es

Patricia Alonso Alonso[‡]
Patricia.alonso@ua.es

Joaquín Fernández Madrid[§]
jfmadrid@udc.es

Resumen

Para el cálculo del comportamiento térmico de un cerramiento con fachada ventilada habitualmente se prescinde de la penalización de los puentes térmicos derivados de su anclaje.

Se trata pues, de demostrar en este estudio la incidencia del sistema de anclaje en la transmitancia térmica real de una fachada ventilada.

Concretamente se pretende cuantificar la cantidad de pérdida energética que existe en un sistema de fachada ventilada con subestructura de aluminio frente a la pérdida energética en un sistema con anclajes puntuales. Se demostrará cómo en ocasiones la subestructura metálica se convierte en un elemento disipador del calor interior del edificio.

Las ventajas energéticas que el sistema de fachada ventilada proporciona se ven mermadas por esta pérdida energética. Dado que es una solución constructiva comúnmente utilizada y extendida, se concluye la importancia de valorar las pérdidas a través de los anclajes para el correcto diseño, optimización y puesta en obra.

Palabras-clave: Fachada ventilada, Comportamiento energético, Sistema de anclaje.

1 Introducción

Habiendo iniciado una investigación sobre el estudio de una patología de fachada ventilada con aplacados de granito perteneciente a un edificio público, se ha detectado un comportamiento térmico diferencial del conjunto del cerramiento. La fachada de este edificio está realizada con un aplacado en granito con un sistema ventilado con las siguientes capas: aplacado de granito de 3 cm

[*] Profesor Universidad de Alicante.
[†] Profesor Titular. Universidad de Alicante.
[‡] Profesora Universidad de Alicante.
[§] Catedrático Universidad da Coruña.

sujeto por una subestructura de aluminio lineal, cámara ventilada de aire de 5 cm, aislamiento de poliuretano de 3 cm sobre un soporte de hormigón armado de 25 cm y un enlucido interior de 1 cm.

Existen principalmente en el mercado dos maneras de realizar el sistema de anclaje del revestimiento exterior en una fachada ventilada. Mediante anclajes puntuales (UNE-41957-1:2000) pieza a pieza o bien mediante una subestructura de aluminio (UNE EN 755-2) que va recogiendo horizontalmente las piezas de revestimiento (Figura 1) [1].



Figura 1: Sistemas de anclaje.

Conocido el comportamiento teórico de los materiales empleados en el cerramiento y recogidos los datos térmicos reales, se han podido contrastar éstos, observándose un comportamiento inesperado del sistema de subestructura de la fachada ventilada que soporta el revestimiento exterior de granito (Figura 2).

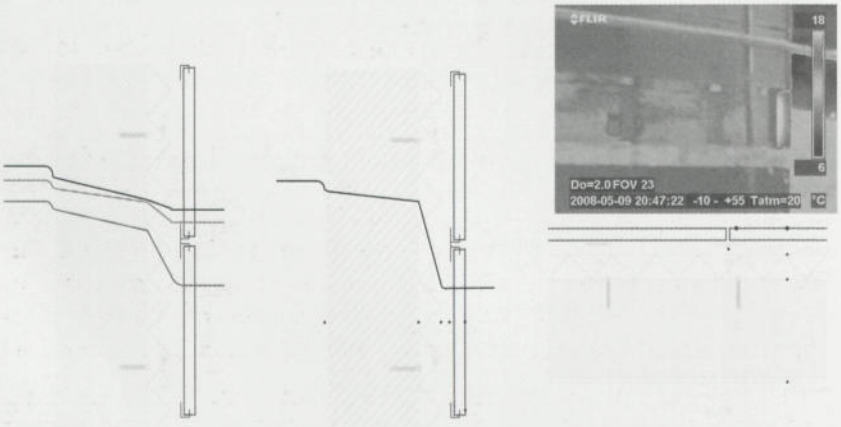


Figura 2: Gráfica de temperaturas sobre el cerramiento y puntos de medición en diversos momentos del día y Tª exterior, y gráfica según RITE.

Para un estudio exhaustivo del sistema de fachada ventilada, además de calcular la transmitancia térmica del cerramiento (Figura 3) prescindiendo tanto de la cámara ventilada como del elemento de revestimiento y su sistema de anclaje, deberían obtenerse las resistencias térmicas superficiales en los distintos planos del conjunto (flujos térmicos interior-exterior), y ensayar un método para la simulación de la transferencia de energía derivada de flujo convectivo

(efecto chimenea), flujo térmico de la epidermis del granito expuesta y flujo convectivo. Recientes estudios han demostrado que la energía aportada por la radiación solar (flujo térmico epidermis-exterior) es insignificante para el proceso de transferencia térmica interior-exterior [2].

CERRAMIENTO OPACO PARA FACHADA VENTILADA

Cerramiento vertical y flujo horizontal
Unidades S.I

1/h int.=	0,13	T int.=	18	Hr int=	75
1/h ext=	0,07	T ext.=	5	Hr ext=	95

ELEMENTOS	e (m)	λ	R (e/λ)	rv	Rv		T
	metros	W/m°C	m² °C/W	MN s/g m	MN s/g		°C
Superficie interior			0,13			Ti	18,00
1. Enlucido	0,0100	0,300	0,03	60,0	0,60	Tsi	17,00
2. Hormigón	0,2500	1,630	0,15	50,0	12,50	T12	16,74
3. Poliuretano Tipo II	0,0300	0,023	1,30	127,0	3,81	T23	15,57
Superficie ext.			0,07			Tse	5,54
		R total	1,69	Rv total	16,91	Te	5,00
total	0,290	K	0,59				

Figura 3: Cálculo del coeficiente de transmisión térmica del cerramiento.

En cuanto a los estudios de los flujos térmicos derivados del efecto chimenea se están utilizando programas de simulación CFD (Computational Fluid Dynamics). Pero en ninguno de ellos se está teniendo en cuenta la incidencia del puente térmico derivado por el sistema de anclaje empleado. Deberíamos por tanto cuantificar ese flujo de calor.

2 Influencia del sistema de anclaje en la transmitancia real de la fachada ventilada.

La cuantificación de la transmitancia térmica por el efecto de los puentes térmicos en la edificación es una labor compleja y que requiere de modelos experimentales de comportamiento. Se ha utilizado la fachada descrita anteriormente como laboratorio de mediciones de flujos térmicos. El método de trabajo fue disponer termopares en distintos puntos del cerramiento con el fin de determinar el flujo térmico que disipa el conjunto, obteniendo mediciones de temperaturas cada media hora. De ellas se recoge un extracto en la Figura 4.

		Ti	Hri	Tsi	T1	T2	T3	T4	T5	Te	Hre
	HORA	TEMP int	Hr int%	Tsup int	muro sup ext	Poliuretano	Perfil Al	Piedra Perfil	Piedra sup ext	Temp ext	Hr ext%
20080201	23:05	18,5	59,3	17,8	15,4	10,3	10,5	9,2	9,0	8,8	77,8
	5:15	17,2	63,4	16,5	14,9	9,5	8,8	8,0	7,5	7,0	79,6
	10:15	15,0	63,8	14,8	13,5	7,2	7,6	6,5	5,6	5,5	82,9
20080506	20:45	19,5	61,3	18,3	17,5	16,5	17,0	16,6	16,6	16,1	77,5
	5:15	18,8	59,5	18,0	16,3	15,1	14,5	13,8	13,8	14,7	76,5
	10:15	17,7	67,7	17,1	15,9	14,0	14,6	14,4	14,4	14,2	75,0
20081107	13:30	19,2	62,2	17,9	15,2	13,2	14,2	14,0	13,9	14,0	73,0
	16:30	19,0	59,3	18,1	15,6	13,7	14,6	14,4	14,2	15,5	67,2
	19:00	17,5	54,9	16,5	15,4	12,2	13,5	13,0	12,7	12,5	65,1

Figura 4: Datos de temperaturas en diversos puntos del cerramiento según Figura 2.

La información de temperaturas aportada por los sensores en los distintos elementos constructivos de la fachada nos ha permitido obtener a las 24 horas de un día común de otoño la gráfica de temperaturas a través del cerramiento,

con una temperatura exterior de 14,0 ºC e interior de 19,2 ºC (Figuras 2 y 4). De la lectura de los primeros resultados podemos extraer que la diferencia de temperaturas entre la cara exterior del poliuretano y la subestructura de aluminio es de 1 ºC, cantidad nada despreciable si tenemos en cuenta que el salto térmico entre temperaturas interior y exterior es de tan solo 5,2 ºC.

Una vez conocida la temperatura de la "T" de sujeción de la subestructura de aluminio en un momento genérico del día se midieron las temperaturas en numerosos puntos de dicha subestructura, obteniéndose resultados similares a lo largo de todos los montantes y en su recorrido en altura, con una variación en la medición de ±0,1 ºC sobre la medición de 14,2 ºC.

Podemos por tanto concluir que, debido a la altísima conductividad térmica que presenta el aluminio (204 W/(m.K)), toda la subestructura trabaja como un gran disipador, robando energía térmica del espacio interior por conducción a modo de puente térmico, y disipándola en toda su superficie a través del flujo de aire exterior en la cámara. Todo ello se ve agravado por el tipo de revestimiento que posee la fachada, el granito, ya que éste tiene una conductividad térmica alta, entorno a 3,5 W/(m.K), con lo que el revestimiento también contribuye a robar energía a través del sistema que lo sustenta.

Con el fin de cuantificar este flujo de calor hemos tomado como referencia los principios de cálculo basados en la Ley de Ohm térmica aplicados al diseño y cálculo de disipadores de calor de equipos electrónicos, de maquinaria y de radiadores de aluminio. Los disipadores metálicos escogidos como modelo en esta investigación trabajan con temperaturas de 200 ºC, y por tanto con un salto térmico de 175 ºC respecto de la temperatura del aire que circula por ellos, con velocidades del aire entre 1,4 y 2,1 m/s, sección 12 cm^2 y caudal 6 m^3/h, cuantificándose su capacidad de disipación en 1W por cada 2 cm^2 de aluminio expuesto [3].

Estos modelos pueden extrapolarse a las condiciones de comportamiento de la subestructura objeto de estudio. En nuestra fachada ventilada las mediciones de velocidad del aire en la cámara entre el granito y el aislamiento dieron como resultado de valor medio 0,30 m/s, dato corroborado por diversos estudios y simulaciones CFD [4]. Con esta velocidad podemos determinar que disiparemos entorno a 0,000617 W por cada cm^2 de aluminio expuesto con un salto térmico de 1ºC. Dato obtenido de la formulación $Q = A \cdot hc \cdot \Delta T$; $q = Q/A$ y $q = \Delta T/(A \cdot Rt)$. Con lo que resumiendo tendremos la siguiente relación:

1 W	2 cm^2	1,39 m/s	ΔT 175ºC	disipador aluminio
0,000617 W	1 cm^2	0,30 m/s	ΔT 1ºC	fachada ventilada

Calculando el área de disipación de la subestructura de aluminio en contacto con el aire que circula por la cámara y dividiéndola por la superficie total, obtendremos la proporción de la superficie de disipación por metro cuadrado

de fachada. Para ello calculamos la superficie de material expuesta al flujo de convección de la fachada ventilada de cada uno de los sistemas de anclaje:

Área de disipación de subestructura de aluminio en "T" para una fachada con aplacado de 120 x 40 cm con 5 cm expuestos y 8 cm de apoyo al soporte;

$$Superficie\ expuesta\ as = ([0,05+0,08]\ x\ 2)\ m\ x\ ([0,40\ x\ 2]\ /\ [1,20\ x\ 0,40])\ m = 0,43\ m^2$$

Superficie expuesta por metro cuadrado para una fachada con anclajes puntuales formada por 4 anclajes -normalmente redondos- con diámetro de 8 mm y 5 cm de longitud expuesta al flujo de convención (Figura 1).

$$Superficie\ expuesta\ ap = 2\pi r\ x\ 4ud\ x\ 0,05\ m = 0,00502\ m^2$$

De esta forma concluimos que el flujo de calor disipado por el tipo de anclaje del revestimiento por cada metro cuadrado de fachada es del orden de:

$$Flujo\ calor\ subestructura \quad Qas = 0,43\ m^2\ x\ 10^4\ x\ 0,000617\ W/cm^2 = \mathbf{2,653\ W/m^2}$$

$$Flujo\ calor\ puntual \quad Qap = 0,00502\ m^2\ x\ 10^4\ x\ 0,000617\ W/cm^2 = \mathbf{0,031\ W/m^2}$$

De estos resultados se deduce que la subestructura lineal de aluminio disipa más energía que un sistema de anclajes puntual, alrededor de 80 veces más.

Con el fin de valorar la cuantía que supone este flujo de calor en términos comparativos se expresan a continuación las pérdidas de calor a través de los dos cerramientos tipo de la edificación analizada:

$$Qc = kc \cdot \Delta T = 0,59\ W/m^2K\ x\ (19,2^oC\text{-}14,0^oC) = 3,54\ W/m^2 \quad \text{(cerramientos opacos)}$$

$$Qv = kv \cdot \Delta T = 3,9\ W/m^2K\ x\ (19,2^oC\text{-}14,0^oC) = 23,40\ W/m^2 \quad \text{(cerramientos de vidrio)}$$

$$Qtotal = Qc + Qas = 3,54 + 2,653 = 6,19\ W/m^2 \quad \text{(fachada ventilada subestructura lineal)}$$

$$Qtotal = Qc + Qap = 3,54 + 0,031 = 3,57\ W/m^2 \quad \text{(fachada ventilada anclaje puntual)}$$

En términos comparativos se deduce que las pérdidas de calor por la disipación en una fachada ventilada con subestructura lineal de aluminio suponen, en relación al cerramiento opaco de fachada, un 75% más de pérdidas. Entendemos que esta ratio se mantendrá constante con la variación de la temperatura exterior y aumento del salto térmico en las condiciones de invierno, que próximamente serán comprobadas y analizadas con mayor precisión.

3 Conclusiones

La pérdida energética derivada del sistema de anclaje es un factor relevante, especialmente cuando lo usamos con subestructura lineal de aluminio. Si aun así lo queremos usar, deberemos romper adecuadamente el puente térmico con un material termo-aislante como por ejemplo una lamina de EPDM. Solución habitual en los países centro-europeos.

La gran proliferación de la colocación de materiales con gran conductividad térmica en fachadas ventiladas especialmente el gres porcelánico (3,06 W/(m.K)) acrecienta aun más si cabe la disipación térmica, al igual que sucede

con los aplacados de granito (3,5 W/(m.K)) robando la energía del edificio a través de la subestructura que los sustenta.

Actualmente estamos especialmente sensibilizados ante los gastos energéticos innecesarios y por ello, sabiendo que el coste de producción de un kW.h es de 0,11 €/(kW.h) con sistema de calefacción eléctrica por efecto joule, tenemos un sobrecoste energético de calefacción (2,653 W/m² por 12 h/día de 180 días/año) de 5,73 kW.h al año por metro cuadrado de fachada, es decir 0,63 €/m². Concretamente el edificio estudiado posee 1.650 m² de fachada con que supone un gasto energético anual de 1.050 € derivado del sistema de anclaje. En el caso de que la producción energética fuera con caldera de gas natural centralizada sería 0,045 €/(kW.h) con lo que supondría un gasto de 425 € al año. Para una vivienda tipo en bloque de viviendas de 110m² de superficie construida, con 40m² de fachada el resultado sería de un gasto energético añadido de 25,2 € anuales. Y con una producción de calefacción con gas natural individual (0,055 €/(kW.h)) su coste anual sería de 12,6 € [5].

Es por todo ello, que debemos prestar la atención adecuada en el uso de este sistema constructivo, tanto en la elección de su tipo de anclaje como en su correcta puesta en obra, ya que puede suponer un sobrecoste energético innecesario.

4 Agradecimientos

A la empresa PROESGA, S.L. por su inestimable colaboración.

5 Bibliografía

[1] Montero Fernández de Bobadilla, E. *Manual Básico. Fachadas ventiladas y aplacados. Requisitos constructivos y estanqueidad.* Consejería de Obras Públicas, Vivienda y Transporte de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia 2007.

[2] Frutos, B.; Olaya, M. *El sistema de fachada trasventilada como elementos de contribución al control de la transferencia de energía en el cerramiento del edificio. Frio-calor y aire acondicionado 2005* – www.inive.org.

[3] Aguilar, J. D.; Almonacid, G. *Disipadores de Calor.* RADIORAMA Octubre 1996, 28-31.

[4] Balocco, C. *A non-dimensional analysis of a ventilated double façade energy performance.* Energy and Buildings 36 (2004), 35-40; Manz, H. *Numerical simulation of heat transfer by natural convection in cavities of façade elements.* Energy and Buildings 35 (2003), 305-311.

[5] *Guía práctica de la energía. Consumo eficiente y responsable.* IDAE. 2004.

COMPORTAMIETO DE LA FACHADA TRASVENTILADA

Estudio de la Influencia de la Presión del Viento y la Presencia del Agua en la Fachada Trasventilada

Miguel Carballido Pensado[*]
mcarballido@coag.es

Ignacio Hortas López[†]
nachohortas@coag.es

Juan López Villanueva[‡]
jva@coag.es

Pablo Noya Suarez[§]
nomonar@gmail.com

José María Paniagua Brea[**]
paniagua@coag.es

Joaquín Fernandez Madrid[††]
jfmadrid@udc.es

Resumen

En las fachadas ventiladas con cámara confinada se consigue instantáneamente la ecualización de la presión de la cámara con la presión exterior, por muy cambiante que sea.

Hay pocos datos acerca de la influencia de los distintos grados de confinamiento respecto de la deseada ecualización y de la cantidad de agua de lluvia que puede introducirse por sus juntas.

Se ha desarrollado un dispositivo, que simula una fachada trasventilada de 1 m2 de superficie, para estudiar las siguientes relaciones:

a) Relación entre tiempo de ecualización y grado de confinamiento
b) Relación entre entrada de agua y grado de confinamiento

De este estudio se desprenden algunas recomendaciones constructivas para minimizar la entrada de agua en la cámara, asi como nuevas líneas de investigación.

[*] Arquitecto. Programa de doctorado E.T.S. Arquitectura - UDC
[†] Arquitecto. Programa de doctorado E.T.S. Arquitectura - UDC
[‡] Arquitecto. Programa de doctorado E.T.S. Arquitectura - UDC
[§] Arquitecto. Programa de doctorado E.T.S. Arquitectura - UDC
[**] Arquitecto. Programa de doctorado E.T.S. Arquitectura - UDC
[††] Doctor Arquitecto. Catedrático UDC

1 Introducción

Sobre un prototipo que emula una fachada trasventilada de 1 m^2 de superficie y 60 cm^2 de aberturas, se han realizado diferentes ensayos modificando algunas de las siguientes variables:

— Presión exterior de la fachada;

— Confinamiento y no confinamiento de la cámara de aire;

— Dispersión constante de agua, emulando el efecto de la lluvia.

Se idealizan varios tipos de fachada ventilada: con grado creciente de confinamiento de la cámara hasta el confinamiento total, se incluye en los ensayos de la dispersión de un caudal constante de agua desde el exterior que puede entrar en la cámara. Con todo ello se pretende saber:

— El tiempo que tarda en ecualizarse la presión con las nuevas condiciones de confinamiento de la cámara;

— La cantidad de agua que atraviesa la hoja exterior de la fachada y su relación con la confinación o no de la cámara;

— La cantidad y sentido de presión que absorben las hojas de la fachada.

2 Desarrollo del modelo

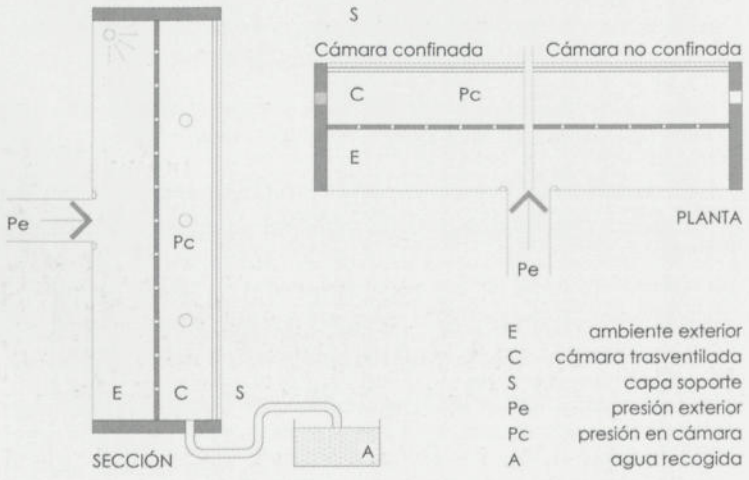


Figura 1: Modelo de ensayo.

El prototipo utilizado (Figura 1) se configura como una caja abierta por los laterales de 1m. x 1m. y 20 cms. de ancho, consiguiendo la superficie nominal de $1m^2$. En su interior se disponen dos paneles: el exterior simula el revestimiento de fachada, y es el que recibe la presión de viento y la dispersión de agua en el banco de pruebas. El otro simula el soporte de la fachada y se cierra con un vidrio de 4+4 mm, El espacio entre ambos recrea la cámara de la fachada ventilada.

3 Desarrollo de los ensayos

El ensayo se desarrolla durante 24 minutos y consta de 8 pulsaciones crecientes de presión positiva, de 3 minutos cada una. La máquina mantiene constante la presión insuflando el aire necesario para mantener estable la presión indicada. Los episodios de presión son 50 Pa, 100 Pa, 150 Pa, 200 Pa, 250 Pa, 300 Pa, 450 Pa y 600 Pa. Este ensayo de presión se repite variando las condiciones mediante la introducción de un caudal constante de agua y la confinación o apertura (a distintos grados) de la cámara.

Los datos registrados son la presión exterior (Pe) y la diferencia de presión entre el exterior (Pe) y el interior de la cámara (Pc).

3.1 Presión de viento con diferentes grados de confinamiento de cámara

Los tres grados de confinamiento ensayados son (a): 3 cm^2; (b): 6 cm^2 y (c): 12 cm^2, respectivamente de comunicación de la cámara con el exterior. La Figura 2 recoge la correlación entre diferencia de presión y Pe.

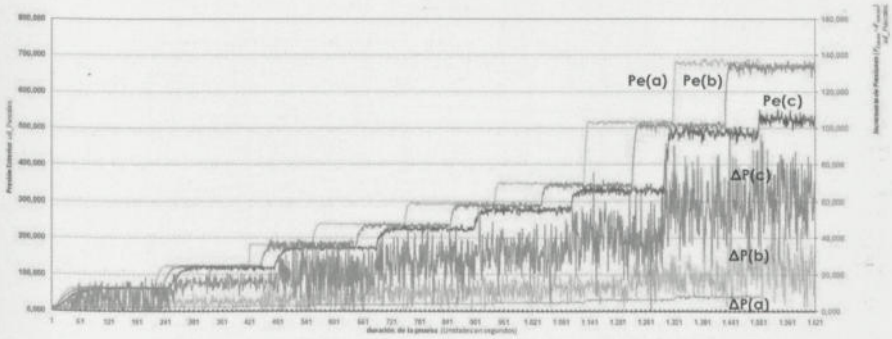


Figura 2: Correlación entre Pe, Pe-Pc y grado de confinamiento (a), (b) y (c). Pe: presión exterior; Pe-Pc: diferencia de presión entre exterior y cámara.

3.2 Entrada de agua y confinamiento o no de cámara

Los resultados del ensayo con la cámara totalmente confinada los representa la figura 3. La línea oscura (Pe) muestra la presión exterior y la más clara (Pe-Pc) la diferencia de presión entre el exterior y la cámara, representada a una escala 100 veces mayor. No obstante los picos de la grafica, se constata que la diferencia de presión es nula, es decir la cámara ecualiza su presión.

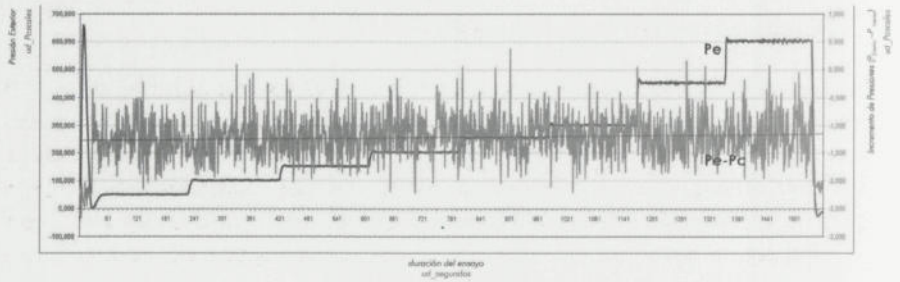


Figura 3: Correlación entre Pe, Pe-Pc y grado de confinamiento total. Pe: presión exterior; Pe-Pc: diferencia de presión entre exterior y cámara.

Durante este ensayo se recogió en el interior de la cámara 3,78 l. de agua, con una proyección a caudal constante de 2,71 l/min (65,04 l.). Esto supone un 5,81% del total de agua proyectada.

Los resultados del ensayo con la cámara no confinada, con 6 cm^2 de apertura de la cámara, son representados en la figura 4. La línea oscura (Pe) muestra la presión exterior y la más clara (Pc-Pe) la diferencia de presión entre la cámara y el exterior, representada a una escala 100 veces mayor.

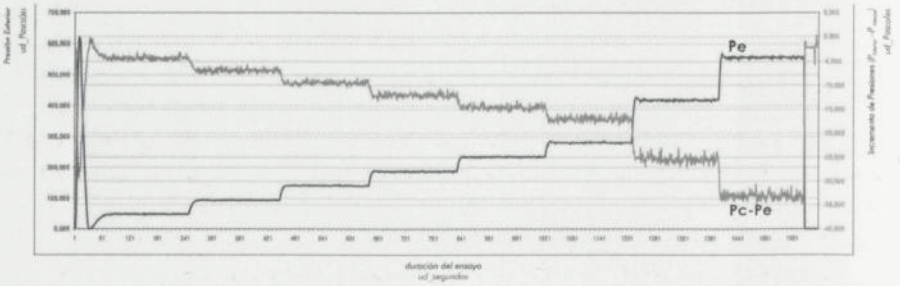


Figura 4: Correlación entre Pe, Pc-Pe y grado de confinamiento (b). Pe: presión exterior; Pc-Pe: diferencia de presión entre cámara y exterior.

Durante este ensayo se recogió en el interior de la cámara 11,66 l. de agua, con una proyección a caudal constante de 2,71 l/min (65,04 l.). Esto supone un 17,93% del total de agua proyectada.

4 Conclusiones

1 . Cuando la cámara esta totalmente confinada, las presiones exterior e interior de la cámara se ecualizan instantáneamente, por lo que la hoja interior del cerramiento, soporta el total de la presión del viento.

2 . En el caso de cámara no confinada, las presiones exterior e interior de la cámara no se ecualizan, siendo Pe ligeramente superior a Pc. Esta diferencia es directamente proporcional al incremento de Pe. Al aumentar el grado de no confinamiento aumenta asimismo la diferencia de presiones entre el exterior y la cámara. Esto indica que la hoja exterior de la fachada soporta cierta presión, del orden del 3,33% en ausencia de agua y del 5,67% en caso de lluvia.

3 . En presencia de lluvia se constata la entrada de agua en la cámara. Ésta se realiza en régimen turbulento, con una diferencia en la cantidad de agua recogida en torno al 30%. La causa de esta fluctuación en los resultados se debe a la pequeña dimensión de los orificios de la hoja y a la tensión superficial del agua sobre el material del prototipo.

4 . Según los resultados obtenidos se puede afirmar que en condiciones de cámara confinada, entra en ella un 5% del agua proyectada sobre la hoja exterior, y en cámara sin confinar el valor aumenta hasta un 18%. En una cámara no confinada entra cuatro veces más agua que en una confinada.

5 Recomendaciones

5.1 Recomendaciones constructivas

Es altamente beneficioso realizar **las cámaras de las fachadas trasventiladas confinadas**, es decir, que el aire de la cámara no circule a lo largo de toda la fachada.

El **aislamiento térmico** debe ser **impermeable** al agua, ya que ha quedado demostrada la entrada de ésta dentro de la cámara.

La **subestructura** de soporte de la hoja exterior de la fachada ha de ser **resistente a la acción del agua**, y dispuesta de tal modo que facilite su drenaje.

El **diseño de la junta** del material de acabado exterior de la fachada adquiere gran relevancia, ya que si es adecuado puede reducir en gran medida la entrada de agua en la cámara.

5.2 Futuros modelos de ensayo

Al realizar el estudio de los datos obtenidos en los ensayos, y la observación de los mismos, se recomienda el diseño de un dispositivo similar con una subestructura que permita el ensamblaje de diferentes opciones de acabado, a fin de estudiar de un modo más fiel a la realidad el diseño de las juntas. Esto permitiría obtener datos más precisos y analizar el tipo de junta más adecuado frente a la entrada de agua en la cámara.

6 Bibliografía

[1] López Díaz, M.; Pérez González, M.J.; Ramos Méndez, I. *Estudio de la influencia de la superficie de ventilación en la ecualización de la presión de una fachada trasventilada*, Trabajo de investigación tutela do por el catedrático Fernández Madrid, Joaquín, septiembre de 2007.

[2] Ministerio de Vivenda. *Código Técnico de la Edificación. HS Salubridad. HS1 Protección frente a la humedad.* Ministerio de Vivienda. Marzo de 2006.

[3] AENOR, Asociación Española de Normalización y Certificación. *Norma UNE EN 1026:2000, Reglamento particular de la marca AENOR para ventanas y puertas*. Revisión 9 de enero de 2006.

FACHADAS VENTILADAS DE PIEDRA: *Influencia de la Temperatura en la Colonización Biológica*

Francisco Javier López Rivadulla [*]
Javier.rivadulla@ua.es

Patricia Alonso Alonso [†]
Patricia.alonso@ua.es

Joaquín Fernández Madrid [‡]
jfmadrid@udc.es

Resumen

En Galicia existen las condiciones climáticas ambientales -temperatura y humedad- que hacen posible la colonización biológica del granito, tanto en edificios con muros portantes de piedra como en las recientes fachadas de aplacados ventilados. Dado que no existen estudios del gradiente térmico en fachadas ventiladas se ha desarrollado un protocolo y un sistema de instrumentación para la recogida de información de temperatura en las diversas capas de una fachada ventilada. Los datos obtenidos se confontan con los aportados por sistemas complementarios: cámara termográfica y detector de temperatura superficial por infrarred. Este estudio se ha realizado sobre un modelo a escala real en la fachada norte del Edificio de Departamentos de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de A Coruña. Se da cuenta de los resultados obtenidos y se analiza la eficacia de cada uno de los sistemas de medición utilizados.

Palabras clave: Fachada ventilada, Comportamiento térmico, Granito y Colonización biológica.

1 Introducción

La colonización biológica de la piedra es un hecho muy frecuente en todo el noroeste de España. Los factores ambientales de dicha colonización que se

[*] Prof. UA. Departamento de Construcciones Arquitectónicas.
[†] Técnico contratado de investigación UDC.
[‡] Prof. Catedrático de la UDC. Departamento de Construcciones Arquitectónicas.

han ido encontrando son: el tipo de piedra, el grado de humedad, el gradiente térmico, el grado de insolación debido a la orientación de la fachada, etc.

El presente estudio señala y analiza la influencia de la temperatura como parámetro determinante en la colonización de algas y cianobacterias sobre la fachada.

2 Ensayo experimental

Hemos elegido la fachada Norte del Edificio de Departamentos de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de A Coruña por darse en ella las condiciones adecuadas.

El estudio trata, por tanto, de monitorizar el rango de temperatura del revestimiento de la fachada con el fin de compararlo con el rango de temperatura en el que se desarrollan, crecen y mueren las cianobacterias y algas que la colonizan.

Una parte de los equipos de medida debieron disponerse en el interior de la cámara. Por ello se desmontaron 34 placas de granito para adosarles por su interior dichos sensores. Una vez adheridos se recolocaron en su posición para monitorizar la temperatura superficial, tanto en la superficie de la piedra como de la subestructura de aluminio que la soporta. Para registrar la temperatura ambiente se utilizaron data loggers dispuestos en el interior del edificio, en el interior de la cámara y en el exterior.

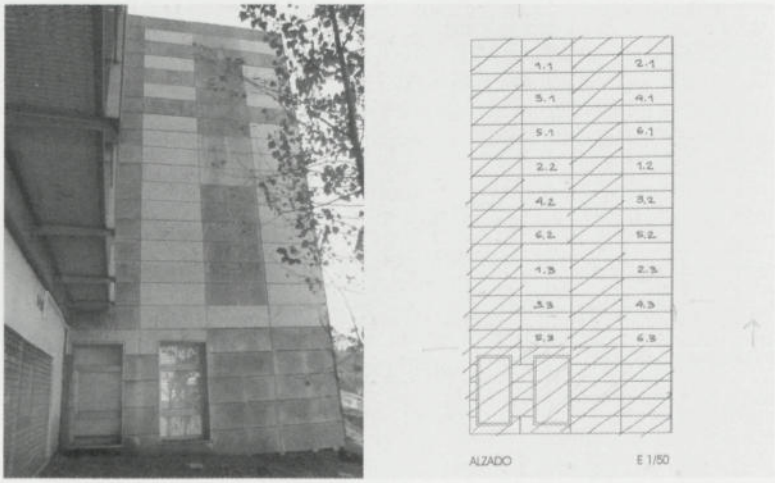


Figura 1: Fachada norte del Edificio de Departamentos UDC.

3 El sistema de instrumentación elegido

3.1 Principios de funcionamiento

Para la determinación de la temperatura disponemos de aparatos de origen eléctrico como el termistor, termopar, termorresistencias [1]; y de radiación térmica: pirómetro (medición puntual) y microbolómetro (cámara termográfica). Todos estos aparatos están basados en uno o varios de los principios básicos de transferencia de calor elementales: la conducción, la convección y la radiación.

3.2 Rango y precisión de los aparatos

Debido al tipo de ensayo que se ha realizado todos los sistemas disponibles elegidos tienen un rango de medición acorde con el rango de temperatura ambiente. Los sistemas instrumentales utilizados, ordenados de mayor a menor precisión, son: Sonda superficial tipo K: ±0,3 °C; termistor seleccionado, data logger: ±0,45 °C; semiconductor adherido: ±0,50 °C; radiación infrarroja por puntos: ±0,75 °C; termohigrómetro de sonda: ±0,8 °C y la cámara termográfica:+-2 °C;+-2%.

Se concluye que los aparatos basados en principios físicos para la determinación de la temperatura mediante la radiación, como la pistola de rayos infrarrojos y la cámara termográfica, son menos precisos. Sin bien las imágenes obtenidas por la cámara termográfica ofrecen datos de todas las temperaturas, contrastando las diferencias térmicas entre las distintas áreas de la fachada.



Figura 2: Termohigrómetros de sonda.

3.3 Instrumentación fija

En la instrumentación fija hemos empleado 18 sensores de temperatura tipo semiconductores adheridos a la cara interior de las placas de piedra, un sensor

adherido a la superficie exterior y un sensor adherido a la superficie de la subestructura de aluminio soporte de la fachada.

Los sensores se han conectado a unos trasductores que remiten toda la información al ordenador. Esta información es almacenada en un software diseñado al efecto. Este software permite visualizar los últimos valores recogidos de temperatura, guardarlos en un archivo .txt, parar e iniciar la recogida de datos, así como recoger los datos en el intervalo elegido, en este caso cada 10 minutos. Los datos en extensión .txt se tratan por una hoja de cálculo que realiza también gráficos y muestran la curva diaria.

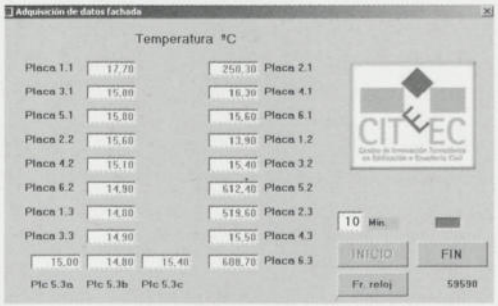


Figura 3: Programa informático de recogida de datos.

Para adquirir los datos de temperatura exterior, interior y de la cámara se han dispuesto cuatro termistores tipo data logger que registran la información cada 30 minutos. Dos de ellos colocados en el interior del edificio, otro dentro de la cámara y el último en la pasarela próxima a la fachada.

Se procedió a la descarga de los datos ambientales y fueron comparados con los obtenidos por los sensores adheridos.



Figura 4: Cámara termográfica y pistola infrarrojos.

3.4 Instrumentación de apoyo

El sistema de instrumentación fijo se reforzó con la ayuda de otros equipos móviles: -pistola de rayos infrarrojos para determinar la temperatura superficial exterior del material; - dos termohigrómetros de sondas (termopar y y con velocímetro); -la cámara termográfica.

3.5 Validez del sistema

Durante la realización y desarrollo del ensayo se corrigieron los errores detectados: errores de instrumentación, errores de método, errores personales y errores aleatorios o indeterminados.

Para evitar errores de la instrumentación se calibraron adecuadamente todos los aparatos. También se han percibido errores del programa informático que se han corregido llegando a la actual V.04.

Para que los datos recogidos fueran operativos se procuró que se obtuvieran en el mismo lugar, en la misma hora y con el mismo procedimiento, así como no interferir en la radiación infrarroja para la determinación de la temperatura.

Al disponer de datos de temperatura muy próximos en el tiempo, se han podido eliminar los datos erráticos de los sensores sustituyéndolos por valores interpolados a partir de datos contrastados.

4 Conclusiones

Este sistema de instrumentación ha sido desarrollado para dar precisión y validez a las medidas tomadas eliminando datos aleatorios o imprecisos. Se trata de cuantificar que los datos son fiables y que son adecuados para su utilización en el estudio de la investigación.

Con los datos obtenidos se concluye inicialmente que hay relación directa entre temperatura y colonización.

a) Las cianobacterias y algas existentes son organismos mesófilos, es decir, sobreviven con temperaturas entre 10 °C y 45 °C y se desarrollan normalmente entre 15 °C-20 °C [2];

b) Las amplitudes térmicas registradas (15 °C, 6 °C, 2 °C) son compatibles con el rango de pervivencia de los microorganismos;

c) La temperatura de +15 °C es el valor mas frecuente de los registrados. La temperatura máxima registrada fue +30,5 °C y la mínima +7,5 °C. Tanto la temperatura máxima como la media están dentro de la tolerancia térmica de los microorganismos. Por debajo de los 10 °C se entiende que pasan a estado latente;

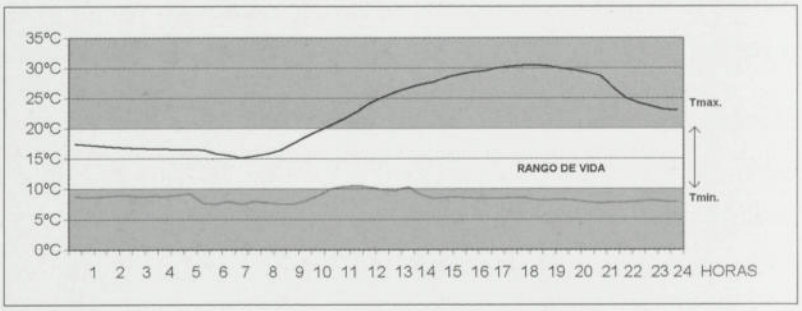


Figura 5: Temperatura del día más cálido y mas frío / rango de vida.

d) La amplitud térmica diaria de la perfilería y de la zona de la placa en contacto con ésta, es mayor que la observada en el resto. Se aprecia correlación entre las zonas menos colonizadas con las que poseen mayor amplitud térmica;

e) Las imágenes obtenidas con la cámara termográfica ponen de manifiesto la coincidencia entre las zonas de mayor colonización con las zonas de temperatura más alta y de menor amplitud térmica.

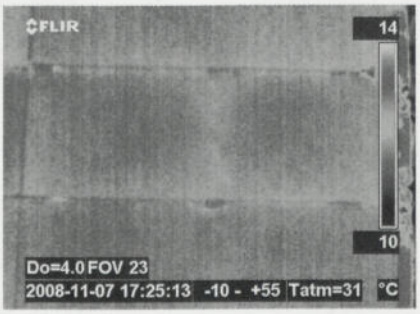


Figura 6: Fotografía cámara termográfica.

5 Bibliografía

[1] Skoog, D; Holler, J; Nieman, T. *Principios de Análisis Instrumental.* Madrid: Mc Graw Hill, 2001.

[2] Whitton, B; Potes M. *The Ecology of cianobacteria: their diversity in time and space.* Boston: Kluwer Academic, 2000.

ANÁLISE DA PRÁTICA USUAL DE REVESTIMENTO CERÂMICO EM FACHADAS NAS EMPRESAS PARTICIPANTES DO PROGRAMA DE MELHORIA DA COMUNIDADE DA CONSTRUÇÃO DE FORTALEZA

Yolanda Montenegro de Moura*
yolanda@edu.unifor.br

Maria Aridenise Macena Fontenelle†
aridenise@ufscar.br

Resumo

Descolamento de cerâmicas em fachadas é uma das patologias que ocorre com maior freqüência nos edifícios na capital do Ceará. Esta pesquisa que visa conhecer as práticas usuais dos revestimentos cerâmicos nas fachadas, foi realizada com dez construtoras participantes do Programa de Melhoria da Comunidade da Construção Civil de Fortaleza. Os resultados do estudo mostraram que apenas duas empresas não apresentam problemas de patologia nos revestimentos cerâmicos das fachadas. Sendo que uma delas utiliza o método de assentamento de cerâmica úmido sobre úmido, e a outra utiliza argamassa industrializada. Todas as demais utilizam este segundo método, entretanto a empresa que não registrou manifestações patológicas elabora o projeto de produção do revestimento externo e tem controle do processo de produção.

Palavras-chave: Patologia, Revestimento Cerâmico, Fachada.

1 Considerações Iniciais

O uso do revestimento cerâmico de fachada tem sido uma prática cada vez mais frequente no Brasil, principalmente nas regiões litorâneas. Além de ser bastante atrativo pela baixa manutenção requerida e pelo padrão de acabamento reconferido à edificação. No Nordeste, há uma valorização de natureza cultural aos edifícios com revestimento cerâmico (DUAILIBE, 2005).

(PADILHA JR et al 2007) consideram que esses revestimentos em muitas ocasiões não são devidamente planejados: quer pela elaboração de um projeto

* Bolsista de Iniciação Científica. Estudante de Engenharia Civil da UNIFOR.
† Profa. Adjunta do Departamento de Engenharia Civil da UFSCar.

específico contendo o detalhamento das interferências, propriedades dos materiais, normalizações pertinentes, juntas de dilatação, tolerâncias e controles, metodologia de execução, conciliação com outros elementos integrantes da fachada, bem como, da execução deficiente e sem atender e respeitar as características dos materiais e componentes da edificação, e dos elementos constituintes da fachada.

De acordo com Baía (2000), a patologia dá-se quando uma parte do edifício, em algum momento de sua vida útil, deixa de apresentar desempenho previsto. As manifestações patológicas nos revestimentos cerâmicos podem ter origem na fase de projeto – quando são escolhidos materiais incompatíveis com as condições de uso, ou quando os projetistas desconsideram as interações do revestimento com outras partes do edifício (esquadrias, por exemplo) -, ou na fase de execução – quando os assentadores não dominam a tecnologia de execução, ou quando os responsáveis pela obra não controlam corretamente o processo de produção.

As manifestações patológicas são evidenciadas por alguns sinais que, embora muitas vezes apareçam em alguns componentes, podem ter origem em outros componentes de revestimento. Quando há destacamento da placa cerâmica, isto não significa necessariamente que o problema foi causado pela própria placa, o problema pode ter sido causado, por exemplo, por falta de treinamento de mão-deobra, que não respeitou o tempo em aberto da massa colante (FONTENELLE e MOURA, 2004).

Dentre as manifestações patológicas dos revestimentos cerâmicos estão: os destacamentos de placas; as trincas, gretamento e fissuras; as eflorescências e deterioração das juntas. Neste estudo os destacamentos de placas é o tipo de patologia que ocorre com maior frequência nas obras.

2 Contexto e metodologia da pesquisa

Comunidade da Construção é um movimento nacional pela integração dos agentes da cadeia produtiva e melhoria contínua dos processos construtivos à base de cimento. Diversas cidades já estruturaram os núcleos dessa comunidade, associando as principais entidades dos construtores, fornecedores, projetistas e profissionais, além de organismos nacionais, como o Senai e o Sebrae.

A Comunidade se organiza por áreas do conhecimento (Projetos) ou localidades (Núcleos). Fortaleza foi a pioneira e já conta com o conselho definido e com dois projetos: a obra emblemática e o Programa de Melhoria.

No primeiro caso, a obra é assistida por consultor e engenheiro implementador no sentido de aplicar soluções baseadas em fatos e dados que são coletados no processo em estudo.

O Programa de Melhorias trabalha com o mesmo objectivo, sendo que envolve um universo de 10 empresas (em média) e foca numa área de estudo que em Fortaleza é revestimentos argamassados em fachadas.

Esta pesquisa foi realizada, com dez construtoras do programa de melhoria da Comunidade da Construção de Fortaleza, das quais duas enviaram mais dois questionários, resultando em 14 obras. O questionário respondido por e-mail abordava os aspectos sobre estrutura de concreto, projecto, planeamento, suprimentos, produção, controle tecnológico.

3 Resultados

Apenas uma das obras estudadas aplica o revestimento externo através do sistema úmido sobre úmido, não tendo evidenciado problemas patológicos. O referido sistema é detalhado a seguir:

1. Fechamento de falhas na alvenaria (tijolos quebrados, juntas sem argamassa, etc.), com argamassa no mesmo traço do revestimento (balança sobe);
2. Execução de chapisco aplicado com colher, em todas as áreas a revestir, no traço 1:4 (cimento e areia grossa). (balança desce);
3. Colocação de telas galvanizadas (largura de 0,50m) nas junções das alvenarias com a estrutura simultaneamente ao chapisco;
4. Execução de emboço/reboco, massa única, no traço 1:1:7 (1 saco de cimento, 1 saco de cal, e 7 padiolas de areia, 35 x 45 x 28cm, 5 de areia grossa e 2 de areia vermelha). (balança desce);
5. O emboço executado pela manhã deverá receber cerâmica à tarde, sendo evitado a execução de emboço para a aplicação de cerâmica somente no dia seguinte;
6. As cerâmicas permanecem imersas em água, antes da aplicação, por um período não inferior a 12 horas;
7. As cerâmicas são coladas sobre o emboço, com uma pasta de cimento e areia vermelha peneirada, no traço 2:1 (2 de cimento e 1 de areia em volume);
8. São executadas juntas horizontais na face inferior das vigas externas a cada dois pavimentos;
9. Em cerâmicas com garras (ex. Gail), é preenchido com a pasta também o tardoz da cerâmica, dupla colagem;
10. As cerâmicas com grande presença de engobe são lavadas e escovadas antes da aplicação;
11. O rejunte das cerâmicas é executado após decorrido um prazo mínimo de 30 dias da aplicação das mesmas. (balança sobe emassando e desce lavando).

A não incidência de patologia foi também evidenciada por uma construtora que utiliza a argamassa industrializada no assentamento do revestimento cerâ-

mico da fachada. O procedimento adotado pela referida empresa é realizado em quatro ciclos de subida e descida conforme detalhado a seguir:

O primeiro ciclo consiste em subir lixando e lavando, e descer chapiscando. No segundo, sobe gabaritando e desce rebocando. No terceiro, sobe protegendo as juntas e desce revestindo. Finalmente no quarto sobre rejuntando e desce lavando.

A seguir são apresentados os procedimentos adotados pelas empresas que utilizam argamassa industrializada no revestimento externo cerâmico e apresentam manifestações patológicas.

A obra 1 realiza o revestimento da fachada em quatro ciclos, conforme descrito a seguir:

1°- Sobe verificando e limpando e desce chapiscando
2° - Sobe emestrando e desce emboçando
3° - Sobe Ponteando e desce colocando a cerâmica
4° - Sobe Rejuntando e desce limpando

Na obra 5 o revestimento cerâmico da fachada é executado, como detalhado a seguir:

1ª Subida – Limpeza e recorte das rebarbas
1ª Descida – Chapisco
2ª Subida – Prumos e emestramento
2ª Descida – Emboço e ponteamento da cerâmica
3ª Subida – Reboco paulista (fachadas norte e leste)
3ª Descida – Aplicação do revestimento
4ª Subida – Rejuntamento
4ª Descida – Limpeza

Nas obras 6 e 7 o procedimento do revestimento cerâmico externo é realizado, como descrito a seguir:

1ª Subida – Limpeza e recorte das rebarbas
1ª Descida – Chapisco
2ª Subida – Prumos e emestramento
2ª Descida – Emboço e ponteamento da cerâmica
3ª Subida – Transporte da balança p/ descer aplicando o revestimento
3ª Descida – Aplicação do revestimento
4ª Subida – Rejuntamento
4ª Descida – Limpeza

A obra 13 realiza o revestimento na fachada, conforme detalhado a seguir:

1ª subida: Tamponamentos em geral e corte de rebarbas das estruturas

1ª descida: Lavando o substrato do concreto, aplicando chapisco aditivado o concreto e colocando tela

2ª subida: chapiscando a alvenaria

2ª descida: Emestrando, emboçando e definindo locais das juntas de dilatação (paginação vertical)

3ª subida : sem realizar nenhuma atividade

3ª descida: Assentamento cerâmico

4ª subida: Rejuntando e preenchendo as juntas de dilatação

4ªdescida: Lavando a fachada

Na obra 14 o processo de revestimento cerâmico na fachada é realizado em quatro ciclos, conforme detalhado a seguir:

1° ciclo: sobe executando o tamponamento dos furos e chapisco da estrutura e desce chapiscando a alvenaria e posicionando arame dos prumos

2° ciclo: sobe emestrando e desce rebocando e emboçando a fachada

3° ciclo: sobe a balança e desce assentando o revestimento externo e realizando a abertura das juntas

4° ciclo: sobe rejuntando e tratando as juntas e desce limpando.

A descrição de procedimentos apresentadas neste item evidencia uma diversidade de práticas na execução do revestimento cerâmico nas fachadas estudadas.

4 Considerações Finais

Os resultados do estudo mostraram que apenas duas empresas não apresentam problemas de patologia nos revestimentos cerâmicos das fachadas, sendo que uma delas utiliza o método de assentamento de cerâmica úmido sobre úmido, e a outra utiliza argamassa industrializada. Todas as demais utilizam este segundo método, entretanto a empresa que não registrou manifestações patológicas elabora o projeto de produção do revestimento externo e tem controle do processo de produção.

Em síntese a pesquisa indicou a necessidade de: execução e melhoria de qualidade dos projetos de revestimento; melhoria do controle das fases de planejamento, suprimentos, produção; e treinamento do pessoal envolvido com revestimento de fachadas.

5 Agradecimentos

À Universidade de Fortaleza pelo apoio institucional. À Comunidade da Construção de Fortaleza especialmente as construtoras participantes do programa de melhoria.

6 Bibliografia

[1] Duailibe, R. P.; Cavani, G. R. ; Oliveira, M. C. B. . *Proposta de Projeto de Revestimento Cerâmico de Fachada – Estudo de caso.* II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Salvador, Setembro 1997.

[2] Padilha JR., M.; Ayres, G.; Lira, R.; Jorge D.; Meira, G.. *Levantamento Quantitativo das Patologias em revestimentos Cerâmicos em Fachadas de Edificações verticais na Cidade de João Pessoa – PB.* II Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica. João Pessoa, Outubro 2007.

[3] Baía, L.L.M.; Sabattini, F.H. *Projeto e execução de revestimento de argamassa. Coleção Primeiros Passos da Qualidade nos Canteiros de Obras.* São Paulo: O Nome da Rosa Editora, 2000.

[4] Fontenelle, M. A. M.; Moura, Y. M. *Análise da prática usual de revestimento cerâmico em fachadas - o caso das empresas participantes do programa de melhoria da comunidade da construção de Fortaleza.* I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável e X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Florianópolis, Junho 2004.

MÉTODOS DE VERIFICAÇÃO DO DESEMPENHO EM SERVIÇO DE FACHADAS REBOCADAS

Inês Flores-Colen*
ines@florescolen.com

Jorge de Brito†
jb@civil.ist.utl.pt

Vasco Peixoto de Freitas‡
vpfreita@fe.up.pt

Resumo

A avaliação *in-situ* do desempenho em serviço é uma actividade complexa, normalmente restringida a uma avaliação visual da degradação dos elementos, podendo levar a uma deficiente diagnóstico e consequente realização de intervenções inadequadas.

Os ensaios constituem um precioso meio auxiliar à inspecção visual e permitem uma melhor caracterização de mecanismos de degradação existentes nos paramentos; e das variações das propriedades relacionadas directamente com o desempenho em serviço. No entanto, estes ensaios apresentam alguns condicionalismos: podem aumentar o tempo de inspecção e produzir resultados confusos e de difícil interpretação; possuem limitações, dependendo da técnica utilizada - por vezes, a sua pouca precisão permite apenas uma análise qualitativa.

Esta comunicação pretende sintetizar vários métodos de verificação do desempenho em serviço de fachadas rebocadas, que incluem observação visual, meios auxiliares de diagnóstico, ensaios *in-situ* e ensaios em laboratório com amostras recolhidas. Pretende também exemplificar como a avaliação do desempenho em serviço de fachadas rebocadas pode ser melhorada através da conjugação de diversos parâmetros de observação e medição em serviço fornecidos pelos métodos de verificação mencionados anteriormente.

Palavras-chave: Desempenho em serviço, Inspecção, Ensaios, Rebocos, Fachadas.

1 Introdução

As fachadas são elementos integrantes do invólucro exterior do sistema edifício e, como tal, desempenham um papel principal ao nível da concepção

* Assistente do DECivil, Instituto Superior Técnico (IST), Lisboa.
† Professor Catedrático, DECivil, IST, Lisboa.
‡ Professor Catedrático, LFC, DEC, FEUP, Porto.

arquitectónica e valorização dos espaços envolventes, assim como no controlo das trocas existentes entre o ambiente interior e exterior.

É na fase de pós-ocupação ("*post-occupancy phase*") que se insere o conceito de desempenho em serviço ("*performance in-use*" ou "*serviceability*"), o qual corresponde ao comportamento dos elementos do edifício em condições reais de serviço ou de uso [1]. Por conseguinte, a avaliação do desempenho em serviço do sub-sistema fachada é o processo que permite avaliar a capacidade que cada elemento constituinte tem em responder às funções para as quais foi concebido, durante o período de vida útil. Neste contexto, interessa avaliar em primeiro lugar o comportamento de cada elemento (parte opaca, parte envidraçada, conjunto e outros elementos - selantes, juntas, elementos exteriores) e só depois fazer uma análise global da fachada.

A capacidade de desempenho em serviço de cada elemento traduz a sua adequabilidade ao uso ("*suitability*"), ou seja, o seu grau de eficiência relacionado com determinada função [2].

As funções regulamentares a exigir aos revestimentos de paredes exteriores em Portugal, neste caso aos rebocos de fachadas, podem ser sintetizadas a partir do Artigo 77º do RGE (projecto de revisão do RGEU) [3], sendo complementadas por várias publicações do LNEC [4]. De uma forma geral, estes revestimentos têm como principal função a protecção das alvenarias contra as acções externas (climáticas e humanas), permitindo em simultâneo uma regularização da superfície e adequado acabamento das paredes, tendo em conta os custos envolvidos e as acções de manutenção durante a vida útil.

2 A avaliação do desempenho em serviço

As metodologias de avaliação do desempenho em serviço ("*condition assessment*" ou "*condition survey methodologies*") são ferramentas importantes para melhorar o conhecimento em serviço dos elementos da fachada, servindo de base ao planeamento das acções de manutenção (manutenção predictiva ou condicionada). Estas metodologias exigenciais devem incluir várias etapas [5, 6, 7]:

- recolha de toda a informação sobre os elementos do edifício, neste caso os produtos e componentes da fachada, assim como as condições de exposição em serviço (e respectiva severidade);
- avaliação do desempenho em serviço baseada em métodos adequados de verificação, complementados com informação recolhida durante a inspecção, experiência do inspector, entre outros;
- comparação dos parâmetros de desempenho em serviço com os requisitos pré-estabelecidos por regulamentos (requisitos legais obrigatórios) e/ou por normas ou documentos técnicos (requisitos não regulamentares);

— identificação das acções necessárias para cumprir em determinado instante esses requisitos, mantendo adequados níveis de desempenho e servindo de suporte às actividades de gestão e decisão durante o período de vida útil.

3 Características de desempenho em serviço

Na sequência da recolha bibliográfica efectuada no âmbito do doutoramento da primeira autora [7], sintetizam-se as características de desempenho relevantes para o comportamento em serviço de fachadas rebocadas (parte opaca), a serem avaliadas pelos métodos de verificação em serviço: (1) características físicas relacionadas com o comportamento mecânico do reboco face às acções em serviço (tensões mecânicas, térmicas e dinâmicas, que podem originar deformações reversíveis ou irreversíveis); (2) características físicas e químicas relacionadas com o comportamento do reboco à acção da água proveniente da chuva + vento e do solo, e respectivas consequências (por exemplo, existência de sais solúveis); (3) características físicas e químicas relacionadas com o comportamento da superfície do reboco (alterações superficiais que indicam sintomas de pré-patologia); e (4) características dos elementos da fachada que influenciam o desempenho dos rebocos e que constituem zonas de interface com a superfície rebocada.

4 Métodos de verificação e parâmetros em serviço

Os métodos de verificação em serviço em edifícios são vários, podendo existir individualmente ou em conjugação: inspecções, ensaios (*in-situ* e em laboratório) e estudos teóricos (modelação matemática) [6], [8].

Esta comunicação pretende sintetizar vários métodos de verificação do desempenho em serviço de fachadas rebocadas, que incluem [7]: observação visual, meios auxiliares de diagnóstico, ensaios *in-situ* e ensaios em laboratório com amostras recolhidas. Para cada método, são identificados vários parâmetros de desempenho em serviço, de acordo com o seguinte.

Observação visual - os parâmetros de observação incluem a identificação das anomalias existentes (agrupadas em manchas, fissuração, destacamentos e perda de coesão), e das incompatibilidades ao nível das interfaces entre o reboco e os restantes elementos da fachada (parede que serve de suporte ao revestimento; estrutura; acabamento final caso exista e, ainda, elementos fronteira); estes parâmetros permitem apenas uma avaliação qualitativa do desempenho em serviço.

Meios auxiliares de diagnóstico - meios expeditos que complementam a observação visual e que incluem parâmetros de observação (por exemplo, observação através de binóculos 8x25, lupa 3x ou microscópio 30x) e de medi-

ção qualitativa (por exemplo, percussão do som com martelo de borracha) e quantitativa (por exemplo, medição da abertura média de fissuras com comparador de fissuras ou medição da cor com escala cromática NCS).

Ensaios *in-situ* - técnicas que permitem reduzir a subjectividade das inspecções visuais (muito dependente da formação e experiência do técnico que faz a inspecção) [9]; a sua utilização fornece parâmetros de medição cuja fiabilidade pode variar muito e, por conseguinte, a informação do desempenho em serviço pode ser insuficiente em determinados casos.

Ensaios em laboratório com amostras recolhidas - parâmetros de medição que complementam os anteriores e que podem fornecer informação adicional relevante.

5 Perfis de desempenho em serviço

A elaboração de perfis de desempenho permite comparar, de uma forma gráfica, o desempenho em serviço (num determinado instante da inspecção) e o expectável para determinada fachada rebocada. Na caracterização deste último, foi necessária a realização de algumas campanhas experimentais em laboratório para estabelecer parâmetros de referência para rebocos correntes (tradicionais e pré-doseados de base maioritariamente cimentícia), passíveis de serem monitorizados em serviço, complementando os que já existem na norma EN 998-1 [11] e no relatório 427/05 do LNEC para produtos pré-doseados [12].

A metodologia de avaliação do desempenho em serviço proposta inclui a aplicação de quatro perfis de desempenho em serviço [7]: condição da superfície rebocada; comportamento mecânico e físico-químico do reboco aplicado; e a compatibilidade entre as interfaces dos elementos da fachada com o reboco aplicado. Nesta comunicação, analisa-se sucintamente um perfil mecânico e físico-químico de um reboco pré-doseado cimentício, conforme Tabela 1. Verifica-se que alguns parâmetros mecânicos têm valores mais elevados do que os previstos (associados às condições de execução); apenas existe valor mais baixo na velocidade de propagação das ondas (microfissuração interna).

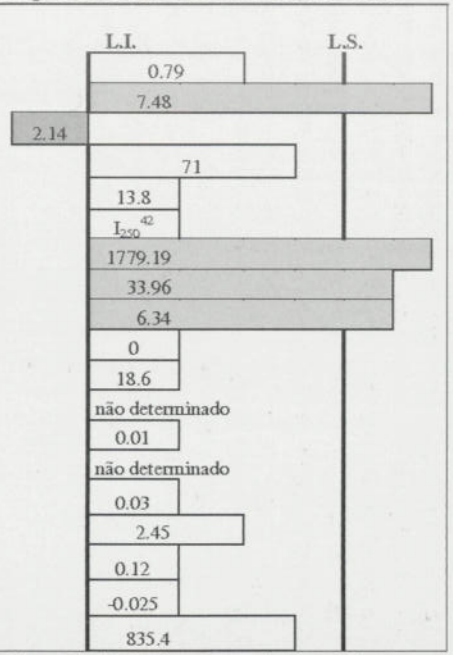
6 Discussão e conclusões gerais

A realização de diversas inspecções tem demonstrado que o cruzamento da informação recolhida com os parâmetros de observação e medição em serviço, conduz a uma maior fiabilidade na avaliação do desempenho em serviço de fachadas rebocadas [7, 10] com vista à prática da manutenção predictiva.

Verifica-se que o coeficiente de variação dos métodos de verificação em serviço, através de ensaios, são maiores do que os obtidos em laboratório como seria expectável, atingindo 38% de variação, inferior a 50% (valor aceitável por outros investigadores [13], tendo em conta a variabilidade intrínseca das técnicas de ensaio *in-situ* e da amostragem).

Tabela 1 - Perfil de comportamento mecânico e físico-químico em serviço de um reboco pré-doseado com 35 meses de idade

Parâmetro de medição	L.I.	L.S.	Indicador de fiabilidade	Método de verificação em serviço
f_u (N/mm^2)	0.3	-	3.66	*pull-off*
R_c^{fic} (N/mm^2)	2.7	4.0	1.95	
V_{ap} (km/s)	2.7	3.3	3.79	ultra-sons
IE^{PT}	64	75	3.52	esclerómetro pendular PT
$Ø_{mossa}$ (mm)	13	20	3.66	*Martinet Baronnie*
I_i^j	I_0	I_{250}^{54}	3.41	
M_{ap}^{PA} (kg/m^3)	1300	1550	3.41	ensaio de pressão hidrostática com
P_{ap} (%)	22	30	3.74	saturação por pressão em amostras
R_c^{ad} (N/mm^2)	2.8	5.2	2.10	ensaio de resistência à compressão
H_{sup} (%)	-	11	2.31	humidímetro
T_{sup} (°C)	-	-	2.19	pirómetro de radiação
$\Delta E_{máx}$	-	2	n.d.	colorímetro
$C_{ab(60)min}^{tk}$ (kg/m^2.min$^{0.5}$)	-	0.2	2.03	
$P_{(48))h}^{tk}$ (ml/cm^2.48h)	-	1	n.d.	*tubo de Karsten*
C_d^a (kg/m^2.min$^{0.5}$)	-	0.4	1.96	ensaio de absorção capilar de
W_c^{48h} (%)	-	6	2.35	amostras
I_s	-	0.3	2.80	ensaio de secagem em amostras
m_3 (kg/m^2.min$^{0.5}$)	-	-	1.29	
$\Sigma_{sais}^{(C+N+S)}$ (mg/kg)	-	5800	1.73	*kit* de campo em soluções aquosas



Legenda: f_u = tensão de aderência; R_c^{fic} = resistência à compressão a partir do valor da rotura coesiva; V_{ap}= velocidade de propagação das ondas ultra-sónicas; IE^{PT} = índice esclerométrico pendular; $Ø_{mossa}$ = diâmetro da mossa; I_i^j = índice de quadriculagem; M_{ap}^{PA} = massa volúmica aparente; P_{ap} = porosidade aparente; Rc^{ad} = resistência à compressão após ensaio de aderência; H_{sup} = humidade à superfície; T_{sup} = temperatura superficial; ΔE_{max} = variação total da cor; $C_{ab(60)min}^{tk}$ = coeficiente de absorção de água a baixa pressão; $P_{(48))h}^{tk}$ = permeabilidade à água líquida; C_d^a = coeficiente de capilaridade; W_c^{48h} = teor de água às 48 horas; I_s = índice de secagem; m_3 = velocidade inicial de secagem; $\Sigma_{sais}^{(C+N+S)}$ = total de sais (cloretos, nitratos e sulfatos); o indicador de fiabilidade inclui a incerteza associada aos limites de referência, ao método de verificação e aos resultados obtidos.

A conjugação entre os vários métodos de verificação permitiu concluir sobre a gravidade de determinadas anomalias nos casos de estudo analisados [7] como, por exemplo, a profundidade das fissuras existentes ou a extensão da perda de coesão interna no revestimento. Adicionalmente, a proposta de limites de referência, determinados com técnicas *in-situ*, permitiu uma boa caracterização do desempenho físico em serviço dos rebocos aplicados. Verifica-se também que, por vezes, existem discrepâncias entre parâmetros por diversas razões (incerteza no limite de referência ou no método de verificação, ou limitações associadas à dimensão das amostras). Neste contexto, foi calculado um indicador de fiabilidade para cada parâmetro de medição. Por último, a aferição da metodologia proposta para fachadas rebocadas carece do estudo de um maior número de casos reais (com diferentes idades e tipos de reboco).

7 Bibliografia

[1] ISO. *Performance standards in building - Principles for their preparation and factors to be considered.* Switzerland: International Standards Organization, 1984.

[2] Lützkendorf & Speer. Alleviating asymmetric information in property markets: building performance and product quality as signals for consumers. *Building Research & Information.* 33(2). 2005: pp.183-195.

[3] CSOPT. *RGE - Regulamento Geral das Edificações Urbanas. Subcomissão para a revisão do RGEU.* Portaria n.º62/2003 de Janeiro. Despacho nº 5493/2003 de 27 de Fevereiro de 2004. Documento de trabalho. 2004.

[4] Veiga, R. *Comportamento de revestimentos de fachadas com base em ligante mineral. Exigências funcionais e avaliação do desempenho.* 1º Congresso Nacional de Argamassas de Construção, Lisboa, Novembro 2005, CD.

[5] RCIS. *Building maintenance: strategy, planning and procurement - guidance note.* Londres: RCIS Books, 2000.

[6] ISO. *Buildings and constructed assets - Service life planning - Part 7: Performance evaluation for feedback of service life data from practice.* Switzerland: International Standards Organization, 2006.

[7] Flores-Colen, I. *Metodologia de avaliação do desempenho em serviço de fachadas rebocadas na óptica da manutenção predictiva.* Tese de Doutoramento, Instituto Superior Técnico. Lisboa. 2009.

[8] Lacasse, M. - *Durability and performance of building envelopes.* NRCC - 46888. Canada: NRC-CNRC. Institute for Research in Construction, disponível em http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/pubs/fulltext/nrcc46888/nrcc46888.pdf [Novembro 2005].

[9] Flores-Colen, I. *et al.* Expedient in situ test techniques for predictive maintenance of rendered façades. *Journal of Building Appraisal*, 2(2). 2006: pp.142-156 (15).

[10] Flores-Colen, I. *et al.* Stains in facades' rendering - Diagnosis and maintenance techniques' classification, *Construction and Building Materials*, 22 (3), 2008: pp. 211-221.

[11] CEN. EN 998-1 - Methods of test for mortar for masonry - Part 1: Rendering and plastering mortar. Brussels: European Committee for Standardization, 2003.

[12] LNEC. *Regras para a concessão de documentos de aplicação a revestimentos pré-doseados de ligante mineral com base em cimento para paredes.* Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil. 2005.

[13] Gron, C. *et al. Quality control manual for field measurements.* Relatório Técnico TR 581. Finlândia: Nordic Innovation Centre, 2005.

CAUSAS DA QUEDA DE AZULEJOS APLICADOS EM EXTERIOR DE EDIFÍCIOS

Azulejaria de Padrão em Edifícios de 1850-1920

Luís Mariz Ferreira[*]
lmariz@tele2.pt

João Coroado[†]
jcoroado@ipt.pt

Vasco Peixoto de Freitas[‡]
vpfreita@fe.up.pt

Itxaso Maguregui[§]
itxaso.maguregui@ehu.es

Resumo

As anomalias que afectam o sistema azulejo/argamassa sobre alvenarias resistentes em granito, nos edifícios vernaculares construídos entre 1850 e 1920 na cidade do Porto, são importantes, não apenas para o bom funcionamento individual de cada elemento mas, em último grau, porque afectam a totalidade do sistema e colocam em risco pessoas e bens, para além de uma degradação estética das superfícies da mancha urbana edificada. Será efectuada a enumeração das razões que levam à queda de azulejos, motivada por anomalias nos diferentes elementos do sistema.

Palavras-chave: Anomalias, Queda de revestimento, Azulejo, Argamassa.

1 Introdução

Muitos edifícios civis, alguns públicos e poucos religiosos apresentam revestimentos em azulejo de exterior que foram aplicados em construções existentes ou em construções novas depois de 1825 e antes da segunda guerra mundial. Até ao advento da Arte Nova (1910) a integridade da fachada principal era revestida a azulejo de padrão de motivo simples (um azulejo constitui o padrão) ou de motivo composto (o padrão é composto por quatro azulejos iguais). Posteriormente o seu uso foi mais parcimonioso decorando frisos ou perfazendo quadros.

Esta forma decorativa apresenta valores estéticos, históricos, tecnológicos e sociológicos que devem ser preservados por configurarem uma unicidade no património construído, não só pela quantidade mas, principalmente, pela qua-

[*] Investigador, Universidad del País Vasco.
[†] Prof. Coordenador, Dep. Arte, Conservação e Restauro do Instituto Politécnico de Tomar.
[‡] Prof. Catedrático da FEUP. Director do Laboratório de Física das Construções.
[§] Prof. Titular, Universidad del País Vasco.

lidade visual e cromática consagrada por este tipo de revestimento. As intervenções efectuadas nestes edifícios têm preconizado reparações maximalistas e desajustadas, por vezes devido à ausência de entendimento dos processos de degradação presentes, nomeadamente a queda de peças.

2 Caracterização do sistema construtivo

Os edifícios construídos até ao advento do betão armado representam uma parcela significativa das construções localizadas nos centros históricos das cidades portuguesas, grosso modo o ano de 1920 constitui o fulcro dessa viragem tecnológica.

Estas construções tradicionais em alvenaria resistente são caracterizadas por peças sobrepostas e justapostas de uma única folha, com juntas em argamassa de cal. Desde meados do século XIX, de modo a impedir a ascensão capilar, foi aplicada recorrentemente uma camada hidrófoba horizontal sobre os alicerces ou, em corte hídrico vertical, sobre a alvenaria para impedir infiltrações (impermeabilizante). Estas camadas eram muito provavelmente produzidas com alcatrão (produto da destilação da hulha) e agregados. Sobre a alvenaria o impermeabilizante, por norma, era aplicado em monocamada e somente quando a superfície ficava demasiadamente lisa eram aplicadas ancoragens (aplicações pontuais espaçadas), com colher de pedreiro.

Para o revestimento das paredes exteriores, as soluções mais usuais são o reboco pintado, o azulejo, a chapa metálica e a telha canudo, estas duas últimas fixadas verticalmente por meios mecânicos a uma estrutura intermédia de madeira. No sistema revestido a azulejo e nas soluções seguidas até inícios do século XX, a argamassa usada era preconizada com ligantes aéreos, normalmente aplicada em camada única. Quando a espessura a preencher era considerada elevada, usava-se uma camada de regularização e sobre esta era aplicado o azulejo, assente com argamassa.

Pela idade, tipo e intensidade das solicitações, estes sistemas revestidos a azulejo apresentam diversas disfunções.

3 Tipologia das anomalias

O desempenho dos revestimentos é determinado pelos materiais e tecnologias utilizadas, pelo enquadramento geográfico-urbano, pelo meio ambiente [humidade, sais solúveis, radiação solar, ar (vento e oxidação), agentes biológicos e catástrofes] e pelas acções humanas directas (ausência de manutenção, manutenção ou uso inadequados, negligência, vandalismo e roubo) e indirectas (poluição atmosférica e vibrações, por exemplo).

Se bem que as manifestações possam ser semelhantes, cada material apresenta uma resposta específica em função das suas próprias características e da

intensidade do agente presente. As formas de manifestação no azulejo são essencialmente: lacunas no revestimento (perda de azulejos); fissuras e fracturas; perda de vidrado; depósitos superficiais ou no interior dos materiais; alteração de cor e brilho; e outros sintomas. Se bem que as argamassas se encontrem protegidas pelo revestimento, cabe-lhes a função de garantir uma boa aderência, capacidade de impermeabilização, permeabilidade ao vapor, resistência mecânica, elasticidade e durabilidade [1]. O não cumprimento de uma ou de várias destas funções em simultâneo pode causar danos secundários quer nas camadas inferiores quer no próprio revestimento. As anomalias recorrentes nesta camada são a fissuração, as fracturas, a perda de adesão e de coesão que, em última instância, levam à queda desta ou dos elementos sobrepostos.

Saliente-se que as degradações situadas inferiormente ao revestimento azulejar foram observadas após a exposição dessas áreas.

4 Anomalias dos materiais

4.1 Anomalias no azulejo

As lacunas do revestimento apresentam diferentes padrões que indiciam causas diferenciadas [2, 3, 4].

a) Queda pontual de azulejos. As causas da queda pontual serão principalmente a penetração e/ou circulação de humidade por falta de estanquidade das juntas entre azulejos, induzindo ao aumento de peso próprio e/ou à dissolução do ligante aéreo; cristalizações de sais na interface azulejo-argamassa; acção mecânica pela presença de raízes no sistema que, como consequência secundária, aumenta os níveis de humidade; acção humana por roubo e vandalismo; oxidação de elementos metálicos; e, em contexto de obras de reabilitação, da selecção inadequada de materiais e de erros de aplicação;

b) Queda em zonas com degradação do suporte. As causas estão principalmente relacionadas com movimentos no suporte por assentamentos diferenciais das fundações e alteração da geometria da parede. Estes movimentos são motivados por obras de escavação, transporte de terras, alterações dos níveis de humidade do solo, abatimento de árvores de grande porte, acção mecânica de raízes de árvores, impermeabilização dos solos, construção de pisos enterrados e vibrações, aumento de cargas como a adição de pisos; e quando se manifestam junto aos vãos derivam directamente da concentração de tensões;

c) Desprendimento em áreas extensas, com precedência de ocos. As causas podem ser a pressão da evaporação; a expansão dos azulejos; a ausência de juntas de dilatação; a dissolução da cal aérea por presença, penetração ou circulação de humidade;

d) Desprendimento generalizado. As causas estão associadas à expansão por acção térmica ou por factores hídricos; a defeitos de fabrico – expansão irreversível dos materiais cerâmicos; à acção humana – roubo; e, em contexto de obras de reabilitação, a incompatibilidade entre camadas, baixa qualidade da argamassa e/ou a erros de aplicação.

As fissuras e as fracturas no azulejo constituem-se como pontos de penetração de humidade para o sistema, podendo levar à degradação das argamassas. São, todavia, causas que produzem danos mais severos a médio prazo.



Figura 1: Queda pontual na zona de influência da humidade ascensional; reparação do revestimento por problemas estruturais; queda generalizada do azulejo no piso térreo.

4.2 Anomalias nas argamassas

As anomalias das argamassas de assentamento dos azulejos directamente implicadas na queda do revestimento [5, 6, 7], são:

a) Perda de adesão ao suporte (impermeabilizante ou alvenaria), entre camadas ou ao azulejo: deficiências na aplicação por ausência de humedecimento do suporte, presença de pó ou gorduras; dissolução do ligante aéreo; comportamento térmico ou hídrico diferencial; cristalização ou hidratação de sais entre camadas;

b) Perda de coesão da argamassa: acção de cristalização ou hidratação de sais (acção prolongada no tempo); ataque químico; acção mecânica por meio de raízes de plantas.



Figura 2: Perda de adesão da argamassa ao suporte; perda de funcionalidade por heterogeneidade do suporte; e perda de coesão da argamassa.

As fissuras e as fracturas nas argamassas de assentamento, se bem que possam induzir à queda do azulejo, apresentam uma evolução mais lenta e com implicação em áreas próximas do sintoma. A visualização destas anomalias só se regista após a queda do revestimento. As fissuras (de abertura inferior a

2 mm) por norma derivam de erros de formulação, de aplicação ou indiciam fases iniciais do processo de degradação que levam à perda de adesão ou de coesão. Fissuras superiores a 2 mm são motivadas pela concentração de tensões junto aos vértices dos vãos por solicitações hídricas e/ou térmicas, pela oxidação de elementos metálicos inseridos no sistema, ou indiciam as fases sequentes da degradação. As fracturas normalmente advêm de problemas estruturais ou solicitação superior face à resistência dos materiais. As fracturas indicam o termo do ciclo útil do material.

5 Análise e discussão

No universo de cinquenta e três edifícios observados, localizados na cidade do Porto, verificou-se que a degradação mais significativa nos revestimentos com azulejo de exterior é a queda e, nestas zonas, são de esperar danos secundários, se não houver uma intervenção atempada. Principalmente relacionada com solicitações térmicas, está também associada à ausência de juntas de dilatação e à recorrente falta de manutenção e de reparação destes edifícios antigos. Estas lacunas no revestimento induzem ao humedecimento do suporte e incrementam a continuação do processo de queda do revestimento. As solicitações térmicas estão principalmente presentes nos pisos superiores nas fachadas orientadas a Sul, Este e Oeste.

Por outro lado é sintomática a presença de humidade capilar que propicia fases líquidas a sais solúveis ou promove a hidratação de sais higroscópicos. Este fenómeno apresenta maior relevância nos pisos térreos e em zonas horizontais de retenção de humidade (superior e inferiormente), ao nível do desempenho das argamassas (perda de aderência e de coesão) conduzindo à queda do revestimento azulejar e, no próprio revestimento, ao destacamento de vidrado e da chacota, este último menos frequente. A humidificação dos materiais promove ainda a fixação de poluentes atmosféricos, deposição húmida, em zonas texturadas (sem vidrado) ou salientes (azulejos de relevo).

A fixação mecânica de elementos à fachada, na maioria das vezes em materiais oxidáveis, provoca tensões que podem gerar desprendimento de azulejos e fissuras ou fracturas nas argamassas. O vandalismo e o roubo de azulejos atingem principalmente os pisos acessíveis, por norma quando os edifícios estão devolutos.

As degradações nas argamassas estão intimamente relacionadas com a presença de humidade no suporte, sendo a ascensão capilar e as infiltrações as principais causas. A humidade actua por solubilidade do ligante, hidratação ou cristalização de sais e variação dimensional, constituindo os três primeiros processos as causas mais comuns. A acção da temperatura afecta em especial o revestimento exterior e só atinge significativamente esta camada após a queda do azulejo.

Na camada impermeabilizante, as anomalias verificadas são pouco frequentes quando o revestimento se encontra em bom funcionamento. Somente quando a degradação deste é já muito acentuada (queda de azulejos) ocorrem danos no impermeabilizante. Os dados apurados indicam que o impermeabilizante ao ficar exposto pela queda do revestimento inicia o processo de degradação pela evaporação dos seus componentes mais voláteis. Esta perda de componentes irá levar à redução da capacidade hidrófoba (de valores menores que 1% para valores de cerca de 3%), podendo ainda repercutir-se na redução da coesão e da adesão ao substrato. A exposição pode ainda levar à distorção, uma vez que este material revela propriedades termoplásticas a uma temperatura superficial de 50° C. Não se considera necessária a eliminação desta camada quando não são detectadas anomalias ou exposição prolongada.

6 Conclusões

A intervenção em azulejos de exterior deve atender pormenorizadamente aos fenómenos de degradação e intervir directamente, sempre que possível, no sentido do bloqueio dos agentes ou dos processos. Parte significativa destes revestimentos possui mais de cem anos e as técnicas tradicionais, na maioria das vezes, responderam muito satisfatoriamente pelo que a continuação do uso destes materiais e técnicas deve ser ponderada.

7 Agradecimentos

O primeiro autor agradece à Fundação para a Ciência e a Tecnologia o apoio financeiro para a realização deste trabalho através da bolsa de investigação SFRH/BD/18248/2004.

8 Bibliografia

[1] Teixeira, G., et alt. *Diálogos de edificação.* Porto: CRAT, 1998.

[2] Asociación de Ceramología. *Rehabilitación de la azulejería en la arquitectura.* Alicante: Asociación de Ceramología, 1995.

[3] Lucas, J.A.C. *Alguns Casos de Patologia em Azulejo.* Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1991.

[4] Sousa, A.V. S., Freitas, V.F. (coord.). *Manual de Aplicação de Revestimentos Cerâmicos.* Coimbra: APIC; CTCV, 2003.

[5] Magalhães, A.C. *Patologias de Rebocos Antigos.* Cadernos Edificios. N.° 2, pp. 69-85. Lisboa : LNEC, Outubro de 2002.

[6] Rato, V.M. *Conservação do património histórico edificado Princípios de intervenção.* Dissertação de Mestrado. Porto: FEUP, 2002.

[7] Veiga, M.R. *As argamassas na conservação.* Lisboa: LNEC, 2003.



SESSÃO XIX

SOLUÇÕES DE REABILITAÇÃO

METODOLOGIA PARA AVALIAR A EFICIÊNCIA DAS TÉCNICAS DE REFORÇO

Aníbal Costa*
agc@fe.up.pt

Filipe Neves†
fjneves@gmail.com

Carlos Sousa Oliveira‡
csoliv@civil.ist.utl.pt

Resumo

O grande número de reabilitações que ocorreram após o sismo dos Açores em 1998 permitiu o estudo das diversas intervenções feitas em alvenaria de casas tradicionais, contribuindo para o aumento do conhecimento na área da engenharia sísmica.

Este trabalho apresenta uma proposta para avaliar a eficiência das soluções de reforço adoptadas em projectos de reabilitação. Sendo este método baseado num conjunto de parâmetros que permitem atribuir uma classificação (percentagem) para cada projecto, considerando a eficiência estrutural do reforço sísmico. Esta avaliação foi aplicada a várias soluções de reforço utilizadas pelos gabinetes de projecto envolvidos na reconstrução dos edifícios danificados. Foram seleccionados aleatoriamente um total de 40 projectos de execução e analisados com grande especificidade, permitindo a comparação entre as diferentes soluções estruturais globais.

Este trabalho realça as diferenças entre soluções estruturais adoptadas pelos gabinetes de projecto intervenientes na reconstrução do parque habitacional da ilha do Faial.

De uma forma geral, cada gabinete seguiu uma determinada solução de reabilitação estrutural, baseada nas recomendações [1], especialmente preparadas para a reabilitação. No entanto, a implementação destas recomendações geraram diferentes detalhes e pormenores para cada solução, traduzindo diferentes classificações para a mesma solução.

Palavras-chave: Avaliação, Sismo, Técnica de reforço.

* Universidade de Aveiro, Departamento de Engenharia Civil, Aveiro, Portugal
† Universidade de Aveiro, Departamento de Engenharia Civil, Aveiro, Portugal
‡ Instituto Superior Técnico, Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura, Portugal

1 Introdução

O terramoto de 9 de Julho de 1998 afectou cerca de 5000 edifícios nas ilhas do Faial e Pico, das quais 2100 foram completamente destruídas. Face ao cenário de destruição, surgiu a necessidade urgente de encontrar soluções para o elevado número de edifícios danificados ou destruídos. Vários gabinetes de engenharia e arquitectura foram recrutados pelo "Centro de Promoção da Reconstrução" (CPR), com o objectivo desenvolver projectos de reabilitação e de novas construções, afim de garantir o dimensionamento de estruturas sismo-resistentes. As primeiras propostas de reforço estrutural foram recomendadas no documento elaborado pelo Laboratório Regional de Engenharia Civil (LREC relatório 100/98) [1]. Os projectos elaborados pelos gabinetes de uma forma geral seguiram as soluções propostas, principalmente pelo facto das construções tradicionais serem muito semelhantes em todo o arquipélago, [2] [3]. Contudo existem diferenças nas soluções de reforço estrutural adoptadas pelos gabinetes, são estas diferenças que se pretendem avaliar segundo a classificação proposta.

2 Classificação de soluções de reforço

Apresenta-se de seguida os critérios para avaliar as soluções de reforço, estes critérios permitem atribuir uma classificação (percentagem) para cada projecto, indicando a eficiência do reforço sísmico estrutural. Os critérios têm como base o conhecimento das características mecânicas de construções tradicionais do parque habitacional da ilha do Faial [4] e são referentes apenas a intervenções do tipo: reparação ou reabilitação.

Para classificar as soluções de reforço iremos procurar identificar as técnicas de reforço, que consideramos adequadas, para se reforçar uma construção tradicional açoriana, tendo em conta o conhecimento das características construtivas do parque edificado. Assim, de uma forma geral, as soluções de reforço podem ser divididas em 3 grupos:

A – técnicas de reforço global (solidarização);

B – técnicas de reforço de elementos (consolidação);

C – medidas gerais de intervenção.

As técnicas de reforço referidas, para cada um dos grupos, poderão ser aplicadas cumulativamente. Por outro lado a ausência de algumas medidas de reforço ou a utilização de técnicas não adequadas serão pesadas com factores com peso negativo.

No grupo A englobam-se as seguintes técnicas de reforço global:

1. Garantir as ligações de continuidade das paredes (por exemplo com a utilização de tirantes);
2. Garantir os apoios das paredes ao longo da altura do edifício;
3. Garantir a continuidade entre as paredes e a fundação;
4. Garantir a ligação entre os diversos elementos que compõem a estrutura assegurando a continuidade, como as ligações da cobertura e dos pisos às paredes;
5. Cinta de coroamento.

No grupo B assinalam-se as seguintes técnicas de reforço de elementos:

6. Reboco armado apenas numa face (melhora a capacidade resistente do reboco);
7. Reboco armado nas duas faces (melhora a capacidade resistente do reboco e da parede);
8. Injecção de calda no interior das paredes (melhora a capacidade resistente da parede de alvenaria):
9. Ligação entre panos de parede com varões de aço inox, ou criação de travadouros (melhora a capacidade resistente da parede de alvenaria);
10. Melhorar as ligações entre peças de madeira;
11. Substituição de elementos de madeira deteriorados por novos.

No grupo C apresentam-se as medidas gerais de intervenção:

12. Evitar panos de parede compridos;
13. Não introdução de lajes de betão armado (causa irregularidades de massa e rigidez em altura e planta).

A existência das situações 12 e 13 nas construções e a sua não supressão acarreta um peso negativo na solução de reforço. Por outro lado a introdução de lajes de betão como solução de reforço será ponderada com um peso negativo, sendo o valor deste peso, função da percentagem de área de laje intervencionada relativamente à área total da construção. Ou seja, a criação de uma pequena laje nas zonas húmidas da habitação será ponderada com um factor negativo, bem como a realização de uma laje ao nível de um dos pisos.

Na Tabela 1 procura-se indicar os critérios a usar na classificação das soluções de reforço.

A definição dos pesos de cada uma das técnicas teve como base uma avaliação empírica do custo/benefício. Com recurso ao conhecimentos do comportamento estrutural das técnicas de reforço ensaiadas "in situ"[5].

Tabela 1: Critérios de classificação das soluções de reforço.

GRUPO		Técnica	Peso	Peso combinado
GRUPO A TÉCNICAS DE REFORÇO GLOBAL	1	Garantir as ligações de continuidade das paredes	20	40
	2	Garantir os apoios de parede ao longo da altura do edifício	40	
	3	Garantir a ligação da parede à fundação	30	
	4	Ligações entre os elementos estruturais (paredes, pisos e cobertura)	30	
	5	Cinta de coroamento	20	
GRUPO B TÉCNICAS DE REFORÇO DE ELEMENTOS	6	Reboco armado apenas numa face	10	50
	7	Reboco armado nas duas faces	40	
	8	Injecção de calda no interior das paredes	40	
	9	Ligação entre panos de parede com varões de aço inox e chapas	40	
	10	Melhoramento da ligação entre peças de madeira	10	
	11	Substituição de elementos de madeira	10	
GRUPO C MEDIDAS GERAIS DE INTERVENÇÃO	12	Existência de panos de parede compridos	-20	10
	13	Introdução de laje de betão armado < 20% da área total Entre 20 e 60% > 60%	 - 20 - 30 - 40	

Esta tabela baseia-se numa classificação de 0 a 20 valores e no caso das construções açorianas tradicionais as construções consideram-se bem reforçadas, com 20 valores, se:

Grupo A – for efectivada a ligação da parede à fundação de forma adequada (30%); for garantido que todas as paredes são ligadas ao longo da altura (pisos e cobertura) (40%) e se forem garantidas as ligações entre os diversos elementos estruturais (paredes, elementos de madeira – pisos e cobertura) (30%). Estas três medidas (2, 3 e 4) perfazem os 100%, originando um peso combinado de 40% da pontuação final. Deve referir-se que duas das medidas, 1 e 5, não são cumulativas com estas na eficiência global, mas contribuem com

a sua presença na ausência de uma delas. Por exemplo as medidas 1 + 5 podem substituir a medida 2, com o mesmo grau de eficiência, se forem efectuadas em todos os níveis (pisos e cobertura).

Grupo B – reboco armado nas duas faces com ligação entre os dois panos com varões de aço inox e chapas 40% + 40%); melhoramento das ligações entre peças de madeira (10%) e com substituição de elementos deteriorados por novos (10%). Estas medidas (7, 9, 10 e 11) perfazem os 100%, originando um peso combinado de 50% da pontuação final. Deve salientar-se que a medida 7 e a 8 não são cumulativas, mas têm uma eficácia semelhante. Caso não seja necessário executar as medidas 10 ou 11, por não serem necessárias, ou por já existirem, serão contabilizados os valores percentuais.

A ausência das situações 12 e 13 corresponderá a um peso combinado de 10% na classificação final. A sua presença irá originar uma diminuição deste valor, podendo em algumas situações o factor combinado ser negativo.

Na figura 1 apresenta-se a classificação dos projectos analisados segundo os critérios definidos para as soluções de reforço.

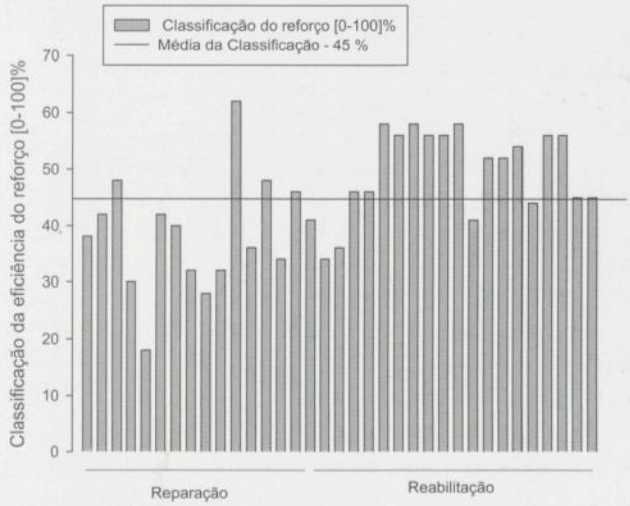


Figura 1: Classificação dos projectos analisados.

A análise da Figura 1 mostra que os reforços das soluções concebidas pelos gabinetes de projecto têm uma eficiência de 45%. A proposta apresentada deve ser vista como uma análise preliminar da eficácia das medidas aplicadas. Contudo a calibração dos factores e seus pesos só pode ser alcançada com um maior conhecimento do comportamento sísmico de edifícios reabilitados e com o desenvolvimento de métodos analíticos e experimentais. Uma proposta similar pode ser aplicada com as necessárias adaptações às estruturas monumentais.

3 Conclusões

Este trabalho teve como referência a bases de dados da Secretaria Regional da Habitação e Equipamento (SRHE), sendo consultados 40 projectos de execução. Na sequência do que resumem os principais aspectos que representam os métodos mais utilizados.

Neste caso de estudo, cada gabinete de projecto adoptou uma solução estrutural, a partir das técnicas de reforço recomendadas no documento [1].

A avaliação da eficiência das técnicas de reforço dos projectos analisados apresenta uma média de 45%, de acordo com a metodologia proposta. Grande parte dos gabinetes de projecto recorre à solução de lintéis em betão armado (B.A.) nos topos das paredes em toda a periferia do edifício, para garantir a ligação da estrutura de madeira do telhado. Na maioria dos casos, a introdução de colunas de B.A. corresponde à introdução de lajes de B.A. sobre o piso e/ou no tecto. As pinturas no caso das reparações e o reforço de malha de aço incorporado no caso das reabilitações, seguido de trabalhos sobre os telhados são as principais razões para os elevados custos das intervenções.

4 Bibliografia

[1] Carvalho, E.; Oliveira, C.S.; Fragoso, M.; Miranda, V. (1998). *Regras gerais de reabilitação e reconstrução de edifícios correntes afectados pela crise sísmica do Faial, Pico e S. Jorge iniciada pelo sismo de 9 de Julho de 1998*. Relatório do Laboratório Regional de Engenharia Civil, 17p.

[2] Costa, A.; Oliveira, C. S.; Neves, F. (2008) *Caracterização do Parque Habitacional das Ilhas do Faial e Pico. Elementos de Estudo do Comportamento Relativo à Crise Sísmica de 9 de Julho de 1998 nos Açores*. In *Sismo dos Açores de 1998*. Uma Década depois. Edição SPRHI, S.A.

[3] Guedes, J. H. Correia; Oliveira, C. S. (1992) *Caracterização da Edificação de Alvenaria Tradicional. Elementos para o Estudo do Comportamento do Parque Habitacional aquando do Sismo de 1 /1/80 nos Açores*. In *Monografia 10 Anos Após o Sismo de 1 de Janeiro de 1980*. Vol 2. Edição C.S. Oliveira, A. Lucas e J.H.C. Guedes, SRHOP/LNEC.

[4] Costa, A. (2002) *Determination of mechanical properties of traditional masonry walls in dwellings of Faial Island, Azores*, Earthquake Engineering & Structural Dynamics. Volume 31, Issue 7.

[5] Arêde, A. (2008) *In situ testing of the out-of-plane capacity of traditional stone masonry walls*. International Seminar on Seismic Risk and Rehabilitation, Açores.

ANÁLISE COMPARATIVA DA EFICÁCIA DE SISTEMAS DE REPARO TRADICIONAIS UTILIZADOS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO COM CORROSÃO DE ARMADURAS POR ÍONS CLORETO

E.C.B. Monteiro[*]
nana.monteiro@uol.com

K. S. Almeida[†]
kallinealmeida@yahoo.com.br

S. A. Monteiro[‡]
samonte@entel.eng.br

M. Q.Oliveira[§]
manuelaqueiroz.eng@gmail.com

Resumo

Devido à evolução da Construção civil, atualmente estão sendo desenvolvidos uma gama de novos materiais com o intuito de promover o reparo e a recuperação de estruturas deterioradas devido aos diversos fatores, são estes, os agentes agressivos, o uso de materiais de baixa qualidade, estruturas mal dimensionadas e mau uso das estruturas.

Com o aumento de patologias presentes em um elevado número de estruturas pode-se concluir que é de grande importância o desenvolvimento de estudos direcionados para a análise de tais patologias e conseqüentemente dos diversos materiais utilizados para a solução destas. Diante disso foi desenvolvido este estudo sobre os três sistemas de reparo tradicionais mais utilizados em obras de recuperação. Foi analisada a eficiência de três materiais de reparo em corpos-de-prova contaminados por cloretos, são eles: Silano inibidor de corrosão, Pintura anticorrosiva e Aditivo inibidor de corrosão.

Realizaram-se ensaios acelerados de corrosão, de modo a avaliar de forma comparativa o desempenho dos materiais. Com o procedimento adotado foi verificado que o Silano foi o material que apresentou melhor desempenho entre os materiais analisados, diante do processo de corrosão das armaduras.

Palavras-chave: Silano, Aditivo e Pintura Anticorrosiva.

*Professora, Doutora em Engenharia Civil– Escola Politécnica de Pernambuco – POLI
† Graduada em Engenharia Civil – Escola Politécnica de Pernambuco- POLI
‡ Doutor em Engenharia Civil – Escola Politécnica de São Paulo - USP
§ Graduada em Engenharia Civil – Escola Politécnica de Pernambuco- POLI

1 Introdução

Este presente trabalho tem o objetivo de avaliar a eficiência de três sistema de reparo tradicionais em corpos-de-prova de concreto armado contaminados por cloretos, moldados em laboratório.

Diante dessa diversidade de produtos e sistemas para prevenção do reparo de estruturas de concreto, através dos resultados deste trabalho espera-se contribuir para o conhecimento dos mecanismos de funcionamento dos diferentes materiais analisados, permitindo o conhecimento do comportamento e real eficácia.

Portanto, uma investigação da viabilidade desses materiais é de grande importância e justifica-se na medida em que fornece à comunidade técnica elementos para discernir o uso desses sistemas nas obras de proteção e reparo de estruturas de concreto armado atacadas por íons cloretos.

2 Procedimento Experimental

2.1 Materiais Utilizados

Foram moldados corpos-de-prova de argamassa armados com os seguintes materiais: Cimento Portland Composto com Pozolana (CPII-Z 32), aço CA-60, Pintura anticorrosiva ,Silano, Aditivos inibidores de corrosão e areia natural oriunda da região.

Neste estudo foi analisada uma marca de silano inibidor de corrosão que consiste basicamente em uma tinta que é aplicada na superfície do concreto e que age como barreira para o acesso dos agentes agressivos. As características do silano estão descritas na Tabela 1.

No presente trabalho, também foi utilizada uma marca de aditivo inibidor de corrosão à base de nitrito de cálcio, cuja ação é classificada como do tipo anódica. Ele é adicionado na água de amassamento durante a fabricação do concreto. As características do aditivo estão descritas na Tabela 1.

Neste projeto ainda foi utilizada uma marca de pintura anticorrosiva que consiste basicamente em uma tinta que é aplicada na superfície da armadura e que age como barreira para o acesso dos agentes agressivos ou como ânodo de sacrifício no processo de corrosão. As características do aditivo estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1: Dados Técnicos dos materiais.

Inibidor	Consumo	Composição	Cor	Densidade	Descrição
Aditivo	5 litros/m²	Nitrito de Cálcio	âmbar	1,275 a 1,315 g/cm³	Líquido
Pintura	1,65 g / m²	Cimento modificado com acrílico	Laranja avermelhado	-	Líquido pastoso
Silano	3 a 4 m²/litro	Resina de Silicone	incolor	0,76 g/cm³	Líquida base silano-siloxano

2.2 Metodologia Utilizada

As séries dos corpos-de-prova estão descritas Tabela 2.

Tabela 2: Denominação das séries de ensaios.

Séries	Pintura	A/C	Cura (dias)	Traço*	Consumo de cimento
S 0,4	Silano	0,4	7	1:3	462 kg/m³
S 0,7	Silano	0,7	7	1:3	462 kg/m³
A 0,4	Aditivo	0,4	7	1:3	462 kg/m³
A 0,7	Aditivo	0,7	7	1:3	462 kg/m³
P 0,4	Pintura	0,4	7	1:3	462 kg/m³
P 0,7	Pintura	0,7	7	1:3	462 kg/m³
REF 0,4	Referência	0,4	7	1:3	462 kg/m³
REF 0,7	Referência	0,7	7	1:3	462 kg/m³

Os corpos de prova do presente trabalho foram confeccionados nas dimensões de 60 x 80 x 25 mm, com duas barras de 5.0 mm de diâmetro, 100 mm de comprimento e com cobrimento de 10 mm. Para cada material foram feitos dois corpos-de-prova, variando a relação água/cimento (0,4 e 0,7). A cura foi feita na câmara úmida, durante 7 dias. Depois de curados os corpos de prova permaneceram em ambiente de laboratório por 15 dias, com umidade relativa em torno de 80% e temperatura de aproximadamente 30 °C.

Em seguida, deu-se início ao ensaio com cloretos onde os corpos de prova foram submetidos a ciclos de secagem e imersão parcial em solução de 5% de Nacl. A condição de secagem consistiu em dispor os corpos de prova em estufa

ventilada, mantendo-se a temperatura em 50 °C durante 5 dias. Na condição de imersão parcial manteve-se o nível da solução do recipiente em uma posição que corresponde à metade da altura da área de exposição da barra, durante 2 dias. Deste modo, tem-se absorção por capilaridade e, uma vez que ocorra a saturação, temos o processo de difusão. A freqüência de medição das variáveis eletroquímicas era feita ao final de cada semiciclo. A grandeza medida ao longo do ensaio foi potencial de corrosão (Ecorr). Para as medidas das variáveis eletroquímicas, utilizou-se um voltímetro de alta impedância, eletrodo de referência (eletrodo de cobre/sulfato de cobre, para medida de potencial de corrosão).

3 Resultados

As Figuras 1 e 2 apresentam o desenvolvimento do potencial de corrosão, com o passar do tempo, para corpos-de-prova com relação água/cimento 0,4 e 0,7 respectivamente. Essas leituras foram processadas ao final de cada semciclo do experimento.

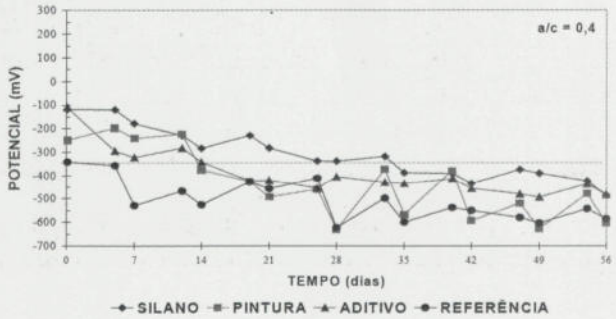


Figura 1: Evolução do potencial de corrosão com o tempo para corpos-de-prova com relação a/c 0,4.

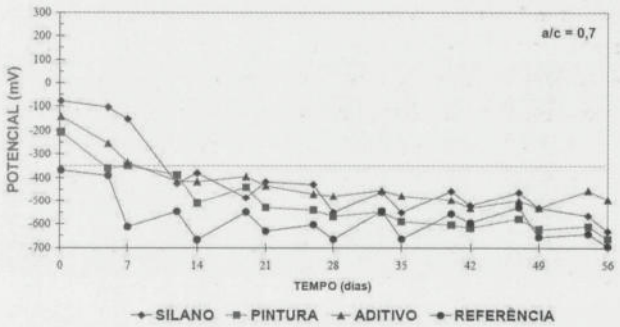


Figura 2: Evolução do Potencial de corrosão como tempo para a relação a/c 0,7.

Observando os resultados apresentados nas Figuras 1 e 2 é possível verificar que os valores de potencial de corrosão das séries com relação a/c 0,4 são melhores que os averiguados para as relações a/c 0,7. Para ambas as relações água/cimento (0,4 e 0,7), pode se notar que ao longo do experimento o Silano apresentou o melhor desempenho entre os diversos materiais, o que pode ser verificado devido aos valores mais eletropositivos do potencial. Em ambos os casos a primeira série a despassivar foi sempre a de referência. Deve ser verificado que os melhores resultados apresentados foram os da série do Silano, sendo esta a última a despassivar.

4 Discussão

O momento da despassivação em todos os ensaios foi detectado quando o potencial de corrosão atingiu o valor de –350 mV como propõe a ASTM-876 [1].

Na Figura 3 temos a duração da fase de iniciação para corpos-de-prova submetidos a ambientes contaminados por cloretos, para o caso dos silanos utilizados.

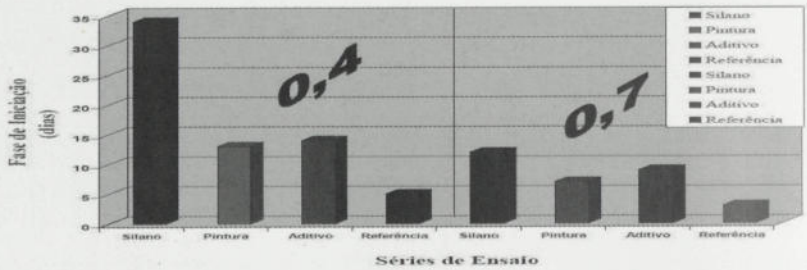


Figura 3 - Duração da fase de iniciação em dias para corpos de prova submetidos a ambientes contaminados por cloretos para ambas relações água/cimento.

Observando os resultados apresentados na Figura 3 é fácil notar que para as duas relações água/cimento, o Silano apresentou uma maior fase de iniciação comparada aos demais materiais analisados. Pode-se também notar, que para relação água/cimento 0,4 as séries de ensaio apresentaram maior fase de iniciação quando comparadas à relação água/cimento 0,7.

5 Conclusões

Considerando as condições de ensaios aqui apresentadas, podemos concluir para as pinturas estudadas:

— A redução da relação água/cimento melhora o desempenho dos três tipos de materiais utilizados, quanto à corrosão por cloretos;

— O Silano teve o melhor desempenho em relação à corrosão por cloretos em ambas as relações a/c;

— Com a técnica utilizada, foi possível classificar os materiais estudados em ordem decrescente de desempenho, quanto a ambientes contaminados por cloretos:

Silano > Aditivo > Pintura Anticorrosiva

6 Bibliografia

[1] American Society for Testing and Materials, *Standard test method for acid-soluble cloride in mortar and concrete. ASTM C 1152*. 1992. Philadelphia: Annual Book of ASTM Standards.

RACIONALIZAÇÃO DO PROJETO E SEUS REFLEXOS, COM APLICAÇÃO DA AUTOMAÇÃO EM EDIFICAÇÕES VERTICALIZADAS

Osvaldo Ribeiro da Cruz Filho*
osvaldocruz@globo.com

Eduardo Linhares Qualharini†
qualharini@all.com.br

Resumo

O uso de componentes que permitam a realização de tarefas automatizadas de sistemas de infraestrutura predial, exige o conhecimento das necessidades espaciais no projeto da edificação verticalizada e de suas alternativas.

Assim, o sistema de sucção e recalque de água tratada, nas edificações, evoluiu consideravelmente nos últimos anos, com a conscientização no meio profissional, da necessidade, cada vez mais rigorosa, dos dispositivos e componentes, que permitam automatizar os sistemas de transporte de fluidos, visando à eficiência, durabilidade e redução de custos, e que possam permitir projetos com alto índice técnico e integrados a arquitetura e a estrutura da edificação.

Este trabalho mostra que utilizando a automação é possível eliminar o reservatório superior de acumulação de água em edifícios, minimizando o consumo de energia, e permitindo melhor aproveitamento na arquitetura do espaço da cobertura da edificação.

Palavras-chave: Edificações Inteligentes. Automação Predial, Reabilitação de Edificações.

1 Introdução

1.1 Sistema Indireto de distribuição

O sistema de sucção e recalque de água tratada nas edificações deve acompanhar a tecnologia, que evoluiu consideravelmente nas últimas décadas.

* Eng. Eletricista, D.Sc, Prof. Associado do Dep. de Eletrotécnica CEFET-RJ. Coordenador Geral de Laboratórios.

† Eng. Civil, D.Sc., Prof. Associado da Esc.Politécnica e do PROARQ/FAU - UFRJ, responsável pelo Lab. de Usabilidade das Edificações.

Assim, a conscientização no meio profissional, da necessidade rigorosa, dos dispositivos e componentes, que permitam automatizar sistemas de transporte de fluidos, permitirão a integração das instalações hidráulicas com a arquitetura e a estrutura da edificação, nesta situação, as seguintes vertentes podem ser utilizadas:

a) Existência física ou em projeto, de um reservatório superior para receber a água recalcada e efetuar a distribuição interna por gravidade;

b) Instalação de um reservatório hidropneumático em aço para receber água do reservatório inferior, a qual será pressurizada através de um compressor de ar, e recalcada até o barrilete para então ser distribuída internamente;

c) Utilização de conjunto moto-bomba acionado por inversor de freqüência, que sob ação de controladores de pressão farão à variação na rotação da bomba, variando a vazão de água recalcada para ser distribuída internamente.

As condições de construção e montagem tratadas nos itens a) e b), resultam na utilização de sistemas de controle e alimentação elétrica dos motores, feitas pelos meios tradicionais, isto é, com uso de válvula de flutuador (bóias elétricas) e contatores elétricos para acionamento do conjunto moto-bomba, onde não há preocupação com consumo de energia elétrica, pois, o sistema não contribuiu para o gerenciamento da energia elétrica. Já o sistema descrito no item c, permite pela tecnologia utilizada nos inversores de freqüência, o gerenciamento da energia elétrica.

1.2 Inversor de Frequência Para Controle da Vazão

O inversor de freqüência é um equipamento elétrico capaz de produzir uma variação dos valores da freqüência elétrica da rede de alimentação de um motor, produzindo uma variação de sua rotação ou velocidade [1]. A construção do motor elétrico é dependente do número de pares de pólos magnéticos e da freqüência da rede que será alimentada, para definir a rotação ou velocidade, de seu funcionamento.

Os motores elétricos assíncronos apresentam construtivamente, velocidades de rotação entre 2% a 5% menores que as respectivas velocidades de sincronismo, de maneira a possibilitar a operação do motor com torque constante (força aplicada num eixo que provocará a rotação do mesmo), em diferentes velocidades, sendo necessário variar a voltagem, proporcionalmente, com a variação da freqüência da rede elétrica.

1.2.1 Controle Escalar

O funcionamento dos inversores de freqüência com controle escalar está relacionado à relação *V/F* constante, isto é, nesta relação é mantido o torque do

motor constante, igual ao nominal, para qualquer velocidade de funcionamento do motor [2]. O motor de indução possui bobinas com dois parâmetros para definirem suas características. A resistência ôhmica R [Ohm] e a sua indutância L [Henry]. A resistência é dependente do tipo de material utilizado (cobre) e do comprimento do fio com o qual será feita a bobina. Já a indutância, depende da forma (geometria) que será dada à bobina.

$$X_L = 2 \times \pi \times f \times L \tag{1}$$

$$I = \frac{V}{\sqrt{\left(R^2 + X_L{}^2\right)}} \tag{2}$$

Para valores de freqüência acima de 30 Hz o valor da resistência é muito pequeno comparado com o da reatância indutiva (X_L), sendo desprezado. Nesta aproximação, teremos o valor da corrente sendo diretamente proporcional à voltagem de alimentação "V" e inversamente proporcional à indutância "L" e a freqüência "f". Como, a indutância é uma constante do motor dependente da construção da bobina, os parâmetros que poderão ser controlados pelo inversor serão voltagem e freqüência. O controle V/F constante varia a voltagem proporcionalmente com a variação da freqüência de alimentação do motor, para obter uma corrente constante da ordem da corrente nominal como indicado na Figura 1.

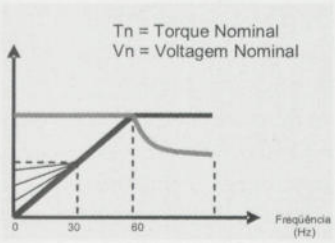


Figura 1: Controle escalar corrente;
Fonte: Mascheroni – 2004

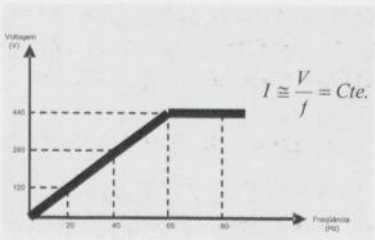


Figura 2: Compensação da corrente;
Fonte: Mascheroni – 2004

Para freqüências abaixo de 30 Hz, a resistência "R" que foi desprezada anteriormente, apresenta agora, influência na corrente elétrica. Assim, mantendo-se a proporcionalidade entre a freqüência e a voltagem, a corrente e o torque do motor irão diminuir. Para que isto seja evitado, a voltagem em baixas freqüências deve ser aumentada como foi indicado na Figura 2.

2 Controle de Vazão

O controle da vazão pode ser efetuado por dois meios; por válvula de estrangulamento ou por controle da rotação da bomba, sendo que, a vazão

também pode ser controlada por meio da recirculação ou da mudança do diâmetro do rotor da bomba [3]. Quando a rotação da bomba varia, surge um conjunto de curvas paralelas, que representam a operação da bomba para a velocidade resultante daquela rotação, sem que isto afete a curva do sistema. Nesta condição não há acréscimo na perda de carga representada pela altura manométrica, ao contrário, a resistência para a vazão é menor. Existe uma relação de proporcionalidade entre a rotação da bomba (N), a vazão solicitada (Q), a altura manométrica total (H) e a potência consumida pela bomba (P) [4].

O transmissor de pressão é o instrumento utilizado no monitoramento contínuo da pressão em processos envolvendo líquidos em tubulações. A pressão é medida por meio de um transdutor piezo resistivo, que converte a força exercida pelo fluído sobre o diafragma em um sinal diretamente proporcional à sua intensidade e que é então enviado a um circuito eletrônico. Para se medir a pressão nos processos envolvendo líquido na tubulação é utilizada o manômetro. O controle automatizado do sistema de recalque de água, com o uso de controle de velocidade variável no motor acionador da bomba, permitirá manter o sistema hidráulico com as vazões variáveis conforme a necessidade do sistema.

A utilização de sistema pressurizado permite efetuar a distribuição de água pela edificação, não sendo necessário utilizar reservatório de acumulação superior.

Na linha de tubulação de saída do recalque de água, deve ser instalado um manômetro de maneira que, este instrumento, permita manter a indicação de que a linha está pressurizada e regulada (*Setpoint*). Na mesma linha de tubulação, também será instalado um transmissor de pressão, o qual receberá informação da pressão da linha e, informará através de envio de sinal analógico (4 a 20 mA) ao elemento de controle, o inversor de freqüência, a necessidade de fazer a rotação do motor variar para que a bomba possa recalcar a vazão solicitada pelo sistema, indicada no manômetro, pela queda de pressão na rede hidráulica. Como, o sistema necessita ser pressurizado, a instalação de um tanque pulmão, na linha de saída para o barrilete de distribuição, permitirá efetuar o efeito mola reguladora quando da variação de pressão na linha de distribuição de água. Este sistema dispensa a necessidade de reservatório elevado que produz pressão na rede hidráulica equivalente a sua altura geométrica. A compressão do ar retido no tanque faz com que haja expansão do ar, quando a água é distribuída pelo sistema e, comprimido novamente quando a bomba inicia o recalque, alimentando o tanque com mais água.

3 Simulação Física do Controle e Vazão

Nas Figuras 3 e 4 são indicadas as simulações feitas em bancada de teste na empresa Iguatemi Bombas, na cidade do Rio de Janeiro. Nesta simulação,

trabalhou-se com uma pressão de 2 Kgf/cm² (Setpoint) estabilizada para manter a rede pressurizada, equivalendo a 20 mca. Nesta condição, o transmissor envia sinal de 4 mA para o inversor informando que a rotação do motor deve ser zero, ou seja, inversor desligado. Abrindo-se um pouco o registro gaveta, a água sai da tubulação, inicia a vazão e com isto a pressão na rede cai para valor abaixo de 2 kgf/cm², que corresponde ao valor ajustado no manômetro. O transmissor de pressão mede a pressão do processo, à medida que a pressão varia, o diafragma é pressionado com intensidade proporcional.

Um pequeno sensor localizado na parte interna do diafragma converte a variação de pressão em uma variação proporcional de resistência elétrica e um circuito eletrônico transforma esta informação em um sinal proporcional de corrente 4-20 mA, que é enviado ao inversor de freqüência. O inversor imediatamente é ligado e faz o motor girar com velocidade proporcional a variação da pressão na rede, até que seja estabilizado o sistema.



Figura 3 : Manômetro e Transmissor
Fonte: Arquivo dos autores



Figura 4 : Tanque pulmão
Fonte: Arquivo dos autores

Na figura 5 é indicado no *display* do inversor, que depois de aberto o registro de gaveta e ter escoado água pelo tubo, ocorre a perda de pressão no sistema, e o transmissor envia sinal ao inversor e este inicia o acionamento do motor da bomba com velocidade de 208,8 rpm.

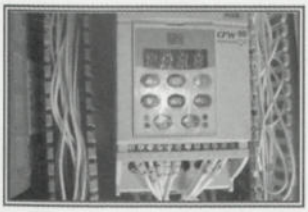


Figura 5.: Inversor c/ velocidade de 208,8 rpm
Fonte: **Arquivo dos autores**

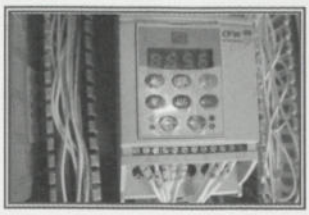


Figura 6 : Inversor c/ velocidade de 855,6 rpm
Fonte: **Arquivo dos autores**

Como, a velocidade de 208,8 rpm não é suficiente para que a bomba possa compensar a vazão, e logicamente a pressão do sistema, o transmissor de pressão envia sinal proporcional ao inversor de freqüência para que este aumente a rotação do motor e a bomba aumente a vazão de recalque, atingindo 855,6 rpm, como indicado na figura 6, estabilizando novamente o sistema e desligando o motor.

4 Conclusão

Neste sistema, de recalque de água, não é necessário o reservatório de acumulação superior, pois o sistema passa a ser controlado pela pressão, de forma que o motor pode vir a ficar trabalhando por horas, entretanto, ele estará flutuando em variações de rotações, e nunca em rotação plena, minimizando o consumo de energia e as altas correntes solicitadas pelo motor no momento de sua ligação. Isto pode ser considerado para o consumo de energia em horários de ponta, entre 17:30 h e 20:30 h, pois neste horário a energia chega a custar três vezes mais do que a tarifa normal, sendo que uma redução de 10% na velocidade da bomba, acarreta uma diminuição de 25% na sua potência. A necessidade de um sistema de geração de energia de emergência, para atendimento do sistema motor-bomba acionado por conversor, é vital, pois em caso de perda de alimentação da concessionária, o sistema continuará funcionando plenamente. Como, neste caso, o acionamento do motor elétrico será feito pelo inversor de freqüência, a solicitação de corrente na partida será reduzida, de maneira que a solicitação de potência ao gerador será menor do que em sistemas de partida com alta corrente, minimizando os custos de aquisição deste equipamento em relação ao seu uso permanente.

Portanto, a estrutura para a edificação, ficará sem a presença da carga estática distribuída, assim, através da utilização de sistema pressurizado hidráulico de recalque de água, poderá ocorrer a racionalização do projeto de construção civil.

5 Bibliografia

[1] BRITO, A.U. *Otimização do acoplamento de geradores fotovoltaicos a motores de corrente alternada através de conversores de freqüência comerciais para acionar bombas centrífugas*. Dissertação de Tese de Doutorado. USP, 2006.

[2] MASCHERONI, J.M. & LICHTBLAU, M. & GERARDI, D. *Guia de Inversores de Freqüência – WEG*. Jaraguá do Sul, SC., WEG Automação, 2004.

[3] DUTRA, J.B.A. *A eficiência energética em sistemas de bombeamento de água. São Paulo.* Revista Eletricidade Moderna, SP, 2006, p.82 – 97.

[4] OLIVEIRA, L.F.C. de & ALVES, A.J. *Verificação das relações de Rateaux pelo emprego de um inversor de freqüência*. Campina Grande, PB. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 2002, v.6, n.3, p.5523 – 5552.

PATOLOGIA DO EDIFICADO ANTIGO
Anomalias dos Edifícios Antigos da Baixa de Coimbra

Romeu Vicente*
romvic@ua.pt

J.A.Raimundo Mendes da Silva†
raimundo@dec.uc.pt

Humberto Varum‡
hvarum@ua.pt

Resumo

A caracterização da área de estudo do processo de reabilitação e renovação da Baixa de Coimbra, com cerca de 800 edifícios, foi efectuada com um grau de detalhe singular no nosso País. Este levantamento, para além de singular, também representa a realidade de outros centros históricos nacionais, com soluções e detalhes construtivos similares, reflectindo o nível de degradação preocupante de muitos dos centros históricos nacionais. As soluções construtivas dos edifícios são marcadas pela disponibilidade de material localmente e ainda, pela tecnologia construtiva e mão-de-obra regional. O grau de degradação é muito variado, atingindo, por vezes, situações mais graves que podem implicar acções de reconstrução e, em casos extremos e mais pontuais, até a sua demolição. São apresentados os resultados globais das inspecções desenvolvidas, que permitiram um levantamento quantificado das soluções construtivas e o diagnóstico das anomalias mais observadas. Neste artigo, dar-se-á particular atenção à envolvente externa dos edifícios, pelo seu carácter fundamental na preservação dos edifícios e sua função estrutural.

Palavras-chave: Edifícios Antigos, Anomalias, Degradação, Reabilitação.

* Prof. Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, Portugal.
† Prof. Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da FCTUC, Portugal.
‡ Prof. Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, Portugal.

1 Paredes de alvenaria resistente

1.1 Materiais, soluções e tecnologia construtiva

Na construção dos edifícios antigos de Coimbra (habitação, monumentos, etc.) são comuns as alvenarias de grande espessura constituídas por pedra calcária de diversa qualidade, isto é, por pedras com maior ou menor grau de carbonatação e de adulteração argilosa (calcários dolomíticos e calcários margosos). A pedra mais vulgar é a pedra calcária de tom amarelado de Coimbra, também designada por dolomia. Estes calcários são mecanicamente mais fracos pela heterogénea constituição e consequentemente de difícil trabalhabilidade. A dolomia de origem local era extraída de pedreiras na periferia da cidade, nomeadamente em Santa Clara, ou dentro da própria cidade. Esta pedra era essencialmente utilizada na constituição das paredes resistentes do edificado e ainda no enchimento em paredes interiores (pedra fragmentada). Do ponto de vista estrutural, este material revelou-se muito vulnerável face às acções climáticas e em particular à acção da humidade. A desagregação (um dos mais graves problemas observados) não se deve apenas à pedra utilizada nas alvenarias, mas também às argamassas de assentamento e à sua má constituição [1].

A forma de assentamento e o tipo de aparelho das alvenarias de pedra irregular são determinantes na sua capacidade resistente. As dimensões e formato com que as pedras vêm da pedreira, o modo como são argamassadas e a qualidade da argamassa são determinantes na qualidade da alvenaria. As pedras de mais pequenas dimensões têm funções de travamento e enchimento. As alvenarias de pedra irregular ou surribada, desordenadas, apresentam um assentamento aleatório, com juntas desalinhadas e irregulares, mas contudo, com algum cuidado na execução (selecção e assentamento). A heterogeneidade das alvenarias é, aliás, bem visível, incluindo a utilização de tijolos maciços no preenchimento e regularização do assentamento. As paredes resistentes entre edifícios (paredes "meeiras"), em muitos casos, não são estruturalmente independentes, são constituídas por alvenarias menos espessas e de pior qualidade incorporando por vezes estruturas de madeira embebidas (ver Figura 1).



Figura 1: Alvenarias irregulares de pedra calcária na Baixa de Coimbra.

1.2 Principais anomalias das alvenarias

Registado o número de ocorrências de outros tipos de anomalias em paredes de fachada, verifica-se que os problemas de aspecto, degradação e envelhecimento são sistemáticos e atingem 50% do edificado. Os problemas de humidade atingem cerca de 42% do edificado, a fissuração cerca de 32%. Os problemas de fissuração mais relevantes ocorrem nas zonas de concentração de tensões junto dos vãos (ver Figura 2). A fissuração associada ao assentamento das paredes (geralmente devido ao assentamento diferencial de fundações) atinge cerca de 16% do edificado. Os problemas de humidade prendem-se essencialmente com as escorrências sobre a fachada devido a um deficiente sistema de drenagem de águas pluviais, a problemas junto dos beirais, às condensações superficiais que ocorrem na face interior das paredes e ainda consequente de problemas de humidade ascensional ao nível do piso térreo.

Concentração de tensões por desalinhamento de aberturas



Descrição
A fissuração é essencialmente inclinada.

Causas e observações
Desenvolvem-se esforços de tracção e tensões tangenciais que não são suportáveis pela alvenaria e consequentemente pelo reboco em zonas de parede sobre aberturas e lintéis.
O desalinhamento de aberturas em altura (vertical) prejudica o caminho de cargas e distribuição de esforços nas paredes. A interrupção de um nembo ou supressão parcial de uma parede resistente, origina um desalinhamento das aberturas em altura, comprometendo a capacidade de resistir a forças de corte e de compressão da parede a esse nível, sendo particularmente desfavorável ao nível do R/C. Nesta situação, no caso do edifício ser sujeito a uma acção sísmica, a resistência a acções laterais pode ser significativamente reduzida.

Figura 2: Concentração de tensões por desalinhamento de aberturas.

2 Pavimentos e coberturas com estrutura em madeira

2.1 Materiais, soluções e tecnologia construtiva

Inevitavelmente, a construção de cada região usa os recursos locais. Na região de Coimbra é frequente observar o uso de vários tipos de madeira: pinho bravo (espécie resinosa), carvalho português, castanho (espécie folhosa) e com menor expressão a casquinha, o choupo e o eucalipto. A utilização de madeira importada não era comum, excepto em situações particulares como edifícios nobreza.

A dimensão das peças de madeira depende da sua aplicação, que poderá exigir níveis de durabilidade e resistência específicas, daí que a natureza das madeiras empregues seja importante na definição da secção e comprimento dos elementos estruturais. No entanto, com argumentos de carácter económico, têm-se observado secções de dimensões insuficientes e espaçamentos excessivos, que conduzem, na sua maioria a deformações excessivas e, muito raramente, a situações de colapso. A distância entre o vigamento de madeira é reflexo da melhor ou pior qualidade da habitação, isto é, a relação entre a dimensão do vigamento (largura do barrote) e o afastamento, era na grande maioria dos casos registados 1:3 ou 1:4. Foi observado com frequência distância entre barrotes de 30 a 40cm (medida entre eixos de vigas/barrotes) para um vão corrente entre os 3 e 4m, em que as secções dos barrotes tinham em média, 10cm de largura por 18cm de altura.

O facto de muitos edifícios estarem construídos em banda e terem uma largura reduzida, conduz a que as soluções de estrutura da cobertura com duas águas sejam as mais utilizadas: i) a solução estrutural é muito simples e consiste em vigas/barrotes principais de madeira paralelos à fachada, descarregando sobre as paredes meeiras ou meãs; ii) estrutura de barrotes que descarrega sobre um lintel no topo das paredes de fachada e uma viga de cumeeira, como se fossem asnas desprovidas de escoras, pendural e linha; e ainda, iii) solução com uma geometria de asna fechada simples (ver Figura 3). Nos casos de coberturas de grandes dimensões, a solução estrutural torna-se mais complexa em termos da geometria e das suas ligações. Relativamente às dimensões das peças de madeira inferiores a 4m (barrotes, linhas, pernas, etc.), a secção transversal destas peças era definida com base em critérios empíricos. No caso de peças de maior comprimento, as dimensões da secção transversal teriam que respeitar valores indicados em tabelas de cálculo [2].

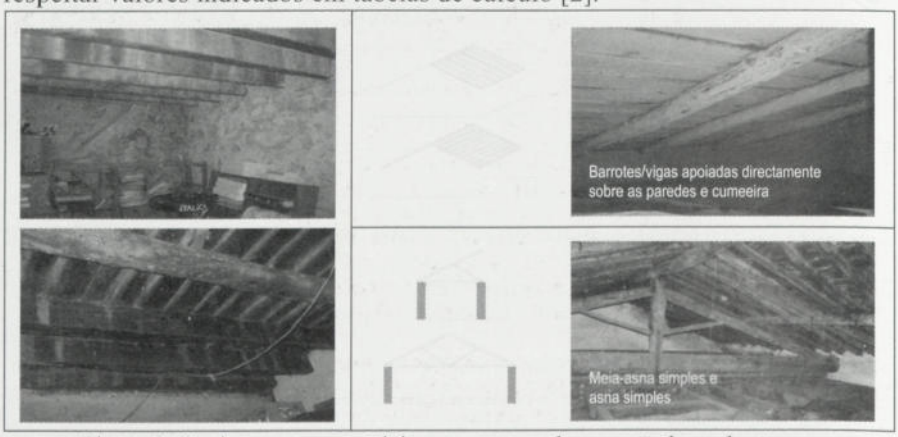


Figura 3: Pavimentos em madeira e estrutura de suporte das coberturas.

2.2 Principais anomalias das estruturas em madeira

Nos pavimentos de madeira os problemas encontrados estão frequentemente associados à própria natureza do material e são agravados pelo seu envelhecimento, degradação e efeito de fluência. Inúmeros edifícios apresentam elementos de madeira muito deformados ou empenados, essencialmente pela acção dos ciclos de temperatura e humidade e ainda pelos efeitos de um processo de secagem não controlado. Os pavimentos com estrutura de suporte em madeira, sofrem essencialmente de problemas de envelhecimento e ataque xilófago, representando cerca de 26% e 17% das anomalias observadas, respectivamente. Com expressão muito semelhante surgem outras anomalias como as deformações do suporte, abaulamentos, acção da água e fissuração.

Do levantamento das anomalias das coberturas, diversos são os problemas que se observaram, destacando-se: problemas de formação de musgos e bolores, que atingem mais de 50% das coberturas; infiltrações com mais de 30% do total; e, deformabilidade excessiva da estrutura de suporte, que atinge mais de 20%. Verificou-se que em 55% dos casos onde se observou deformação excessiva dos elementos de suporte, aparecem associados problemas de infiltração.

Apodrecimento e fragilização (infiltrações)



Descrição

Apodrecimento da madeira nas zonas mais sensíveis, como são as "entregas" do vigamento de madeira sobre as paredes.

Causas e observações

A capacidade resistente de peças de madeira, próximas da parede, são fragilizadas (desenvolvimento de fungos e podridão) pelas infiltrações que ocorrem através das paredes (de fachada e meeiras), beirais, coberturas e caixilharias, conduzindo à desagregação da alvenaria e destruição da zona dos apoios, onde o esforço de corte também é maior, originando, em casos limite, o colapso dos barrotes/vigas e consequentemente do pavimento.

A partir de infiltrações que ocorrem essencialmente através das paredes, outros elementos em madeira também contactam com a água, como são soalhos e forros de tecto, nomeadamente nas zonas periféricas, junto das paredes.

A humidade ascensional, apesar de ter uma consequência mais directa sobre as alvenarias, também pode ascender ao nível dos pavimentos no caso de pisos semi-enterrados.

Figura 4: Apodrecimento e fragilização (infiltrações).

3 Conclusões

As alvenarias dos edifícios da Baixa de Coimbra são muito heterogéneas em termos de comportamento e deformabilidade, devido à heterogeneidade de materiais constituintes (pedras e argamassas) e à diversidade das técnicas construtivas utilizadas. O seu estado de conservação é muito preocupante, tendo em consideração, sobretudo, os sinais de desligamento entre paredes ortogonais e a fissuração, que prejudicam e comprometem a estabilidade destes edifícios que correm o risco de desmoronar apenas com acções climáticas ou com a realização de obras em terrenos confinantes. Os pavimentos com estrutura em madeira apresentam algumas fragilidades, quer de origem estrutural, quer de origem não estrutural. As principais preocupações passam pela capacidade de carga dos pavimentos que se têm de adaptar às novas funções, pelo controlo e eliminação de deformações e vibrações, pelos ataques de xilófagos e o desenvolvimento de fungos, pelo comportamento à acção do fogo, e ainda, pelo nível de isolamento acústico e térmico. As intervenções necessárias nos pavimentos deverão ser orientadas pelo conhecimento e compreensão dos materiais e da tecnologia, apoiadas por acções prévias de diagnóstico. A ausência de acções de manutenção regulares é uma das principais razões pela qual as coberturas são frequentemente responsáveis pela degradação precoce dos edifícios no seu conjunto e dos outros elementos primários (pavimentos e paredes). A reabilitação destas coberturas dificilmente pode ser parcial e implica, em geral, o levantamento global do telhado, reparação, reforço ou substituição dos elementos estruturais (incluindo tratamento de preservação das madeiras), colocação de sub-telha, limpeza e escolha das telhas a reutilizar e recolocação do telhado com reconstrução de todos os pontos singulares (beirais, cumeeiras, rufos, etc.).

Esta "imagem" muito detalhada da Baixa de Coimbra permite a análise e a avaliação dos problemas mais relevantes em termos de habitabilidade, conforto e segurança dos seus edifícios. O centro histórico, na globalidade, denota que uma intervenção concertada é absolutamente urgente, não só pelo estado de conservação medíocre do edificado, mas pela progressiva e acelerada degradação e perda de imagem do centro histórico, introduzindo soluções e materiais correntes e inadequados à corrente de conservação e restauro genericamente defendida em toda a Europa.

4 Bibliografia

[1] Vicente, R. *Estratégias e Metodologias para intervenções de reabilitação urbana.* Dissertação de doutoramento, Universidade de Aveiro, 2008.

[2] Pereira da Costa, F. *Enciclopédia Prática da Construção Civil.* Edição do Autor, Lisboa: Portugália Editora, 1955.

[3] Arriaga, F. *Intervención en estructuras de Madera.* Madrid: AITIM, 2002.

TIPIFICAÇÃO DAS ALTERAÇÕES CORRENTEMENTE INTRODUZIDAS NO SISTEMA CONSTRUTIVO DAS CASAS ANTIGAS DO PORTO

Joaquim Teixeira*
jteixeira@arq.up.pt

Rui H. C. Fernandes Póvoas†
rpovoas@arq.up.pt

Resumo

O recurso ao desenho revela-se da maior importância para a prática, que se exige cada vez mais responsável e informada, do projecto de intervenção no património edificado não monumental, designadamente naquele corporizado pelos edifícios de habitação corrente que constituem a base da malha urbana dos centros históricos.

A caracterização do património edificado, assente no desenho rigoroso dos diversos aspectos da sua arquitectura - tipológicos e construtivos -, constitui ainda um importante instrumento operativo para as instituições responsáveis pela gestão e salvaguarda dos centros históricos.

Propõe-se, assim, a realização de uma tipificação das principais alterações introduzidas no sistema construtivo das casas do Porto de entre os séculos XVII a XIX, apoiada no desenho rigoroso de um modelo elaborado a partir dos casos mais frequentes, destacando o seu contributo para um diagnóstico conducente a metodologias e práticas de intervenção pouco intrusivas.

A título ilustrativo, apresenta-se o exemplo da introdução de pavimentos impermeáveis, no interior e no exterior das casas.

Palavras-chave: Diagnóstico, Sistema construtivo, Desenho, Reabilitação.

1 Introdução

O tema desta comunicação insere-se num trabalho de investigação mais abrangente, em fase de desenvolvimento, sobre metodologias de intervenção no património urbano edificado, concretamente da cidade do Porto, direccionadas para uma prática de reabilitação assente na preservação dos sistemas construtivos tradicionais.

Dos estudos já realizados resulta a convicção de que se torna necessário inverter as práticas instituídas de intervenção no património urbano edificado,

* Assistente da FAUP
† Professor Associado da FAUP.

em Portugal e, designadamente, no Centro Histórico do Porto, que privilegiam a demolição em detrimento da preservação dos materiais e sistemas construtivos tradicionais.

Pretende-se com a investigação em curso demonstrar que a intervenção em edifícios existentes, baseada em metodologias pouco intrusivas, preservando e recuperando o carácter dos materiais e do sistema construtivo tradicional, é a mais vantajosa do ponto de vista da preservação do Património Arquitectónico, dos custos de construção e manutenção e ainda de uma prática de reabilitação sustentável.

2 A importância do desenho para o projecto de intervenção no património

O desenho constitui uma ferramenta indispensável à prática de intervenção no património histórico da cidade, quer se trate do monumento singular ou do edificado urbano, de trabalhos ligeiros de manutenção ou, mais profundos, de reconversão.[‡]

A sua importância revela-se logo na fase preliminar do projecto, correspondente à análise e levantamento do existente; prosseguindo nas várias etapas de concepção, em que o desenho representa um importante instrumento operativo, assim como o meio mais eficaz para a representação das soluções de projecto de todas as especialidades intervenientes; terminando na fase da obra, onde a sua importância se concretiza na realização dos diversos trabalhos.

O desenho é pois a linguagem comum aos vários intervenientes no processo de intervenção no património arquitectónico, desde os técnicos (arquitectos, arqueólogos, engenheiros, etc.), aos artífices, incluindo promotores e entidades de gestão responsáveis pelo empreendimento.

Sobre a arquitectura do passado e, em particular, a mais corrente e anónima, existem muito poucos registos gráficos e mesmo quando se institui a entrega de mais informação para o licenciamento, constituída por desenhos de plantas, cortes e alçados, estes não ultrapassam, em regra, a escala 1/100[§].

Nestes termos, a existência de uma base de dados com informação desenhada que ultrapasse a lacuna existente, constitui, certamente, um auxiliar precioso na fase inicial de levantamento e caracterização construtiva do edifício a

[‡] A Carta de Veneza recomenda no seu Art.º 16 que "Os trabalhos de conservação, restauro ou escavação devem ser sempre acompanhados por um registo preciso, sob a forma de relatórios analíticos ou críticos, ilustrados com desenhos ou fotografias. Todas as fases dos trabalhos de reparação, consolidação, recomposição e reintegração, assim como os elementos técnicos e formais identificados ao longo dos trabalhos devem ser incluídos."

[§] Com efeito, a construção dos edifícios apoiava-se, fundamentalmente, no conhecimento empírico e na perícia dos mestres construtores. Trata-se, portanto, de um património relativamente ao qual a informação desenhada é escassa e, a que existe, pouco ou nada informa sobre o sistema construtivo.

intervencionar e, consequentemente, na garantia de qualidade do respectivo projecto de intervenção.

3 Modelo construtivo das casas burguesas do Porto

O presente estudo incide sobre o património edificado da cidade do Porto, compreendido entre o século XVII e final do século XIX.[**]

É do conhecimento geral que, a partir da segunda metade do século XVIII, a cidade do Porto conhece uma rápida expansão, impulsionada por uma conjuntura favorável e pela acção de João de Almada. A este período correspondeu um incremento significativo da construção de habitação, do qual resultou uma notável sistematização dos respectivos processos e sistemas construtivos.

Este último facto é sustentado pela investigação que tem vindo a ser desenvolvida para a caracterização do sistema construtivo das casas burguesas do Porto [1], assim como pelos contributos pioneiros de Veiga de Oliveira e Galhano [2] e, mais recentemente, de Fernandes [3].

Esta sistematização permitiu conceber um modelo construtivo de síntese, representativo das diversas soluções existentes, o qual será ampliado e complementado com a sobreposição de outro tipo de informação contemplando, designadamente, as alterações introduzidas mais frequentes, a identificação de anomalias e, numa fase posterior, a apresentação de soluções técnicas de reabilitação. Este modelo, em fase de elaboração, pretende constituir uma vasta biblioteca de informação, disponível em suporte CAD (*Figura 1*), destinada a constituir uma ferramenta de apoio para os diversos intervenientes na reabilitação do património edificado, sejam técnicos ou responsáveis pela respectiva gestão.

[**] Veiga de Oliveira no seu estudo "Casas do Porto", publicado em 1958, refere que "(...) a grande maioria das casas hoje existentes, mesmo nos bairros que correspondem ao núcleo medieval da cidade, e tanto as estreitas, com as suas lojas no rés do chão, como os grandes palácios aristocráticos, são edifícios dos séculos XVII, XVIII e XIX (...)"

O modelo está estruturado de acordo com uma hierarquia estabelecida para os diversos elementos arquitectónicos e construtivos que compõem a casa.††

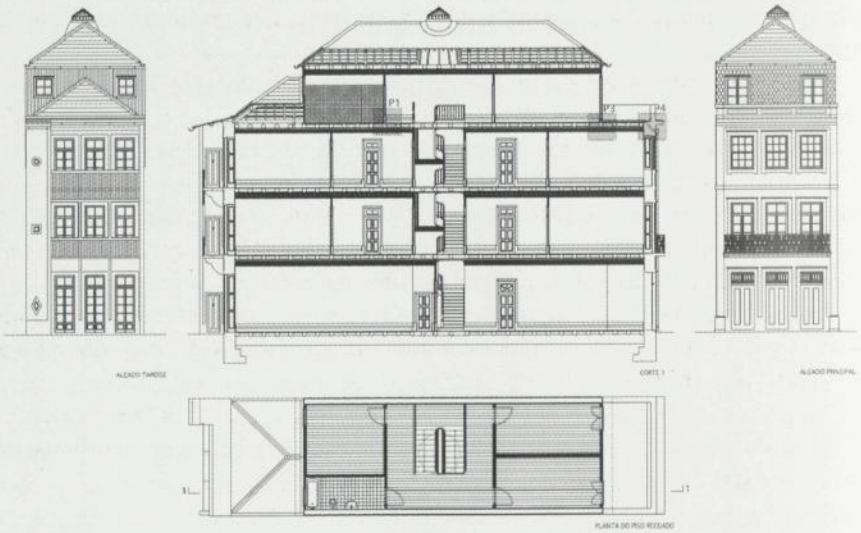


Figura 1: Modelo construtivo das casas burguesas do Porto - planta do piso recuado, corte longitudinal e alçados da rua e de tardoz.

4 Tipificação das alterações mais frequentes

Na sistematização que se apresenta não se destrinçam as alterações introduzidas em períodos próximos da data de construção dos edifícios mais antigos ou que, em qualquer dos casos, utilizaram os materiais e métodos construtivos tradicionais, pois, de uma forma geral, estas modificações surgem perfeitamente incorporadas no sistema construtivo original, não se evidenciando numa leitura actual destes edifícios‡‡.

Esta sistematização contempla basicamente as alterações que introduziram materiais e práticas estranhas ao saber tradicional de construir, operadas por

†† Os principais elementos arquitectónicos e construtivos que compõem o modelo são: Fundações; Paredes exteriores; Pisos; Cobertura; Paredes interiores; Acessos verticais; Caixilhos exteriores; Caixilhos interiores e Infra-estruturas; decompondo-se ainda em função de tipos, materiais, componentes, relevância estrutural e de acordo com que se julga corresponder ao faseamento dos trabalhos de construção.

‡‡ No conjunto das alterações já identificadas destacam-se: (i) modificação da organização tipológica; (ii) introdução de novos pisos; (iii) abertura de águas furtadas nas coberturas; (iv) substituição do revestimento das coberturas; (vi) introdução de caleiras; (vii) encerramento das varandas dos alçados de tardoz; (viii) modificação do revestimento de paredes exteriores; (ix) substituição, parcial ou integral, de caixilhos exteriores.

iniciativa dos utentes das casas, realizadas na maioria das vezes de forma precária, sem qualquer apoio técnico ou licença de construção.

Estas transformações ter-se-ão iniciado nas primeiras décadas do século XX, quando começam a ser divulgados novos materiais, tais como a membrana asfáltica, o cimento *Portland* ou o mosaico hidráulico.

Verifica-se, porém, que a generalidade das alterações já referenciadas não afectaram de forma irreversível o carácter e autenticidade da arquitectura e sistema construtivo dos edifícios, sendo os danos causados perfeitamente recuperáveis. Esta afirmação permanece válida, mesmo em casos extremos, de que são exemplo a abertura de vãos na fachada do rés-do-chão ou a substituição de elementos estruturais em madeira por elementos de betão armado, como acontece frequentemente com as escadas interiores de acesso ao primeiro piso.

Excluem-se desta sistematização todas as intervenções efectuadas, de iniciativa pública ou privada, que incidiram de forma global e profunda nas casas, alterando irreversivelmente o seu carácter e sistema construtivo.

Por motivos de espaço e a título exemplificativo, apresenta-se apenas o exemplo da alteração relacionada com a criação de pisos impermeáveis, no interior e exterior das casas.

4.1 Pavimentos impermeáveis

Exigências de conforto e higiene levaram os habitantes à instalação de sanitários no interior das casas, muitas das quais nunca tinham possuído este equipamento. Por outro lado, em muitos casos, alterações de uso ou de propriedade impuseram a deslocação da cozinha para outros pisos ou a construção de mais do que um destes compartimentos por casa.

No exterior, a construção de pisos recuados terá suscitado a supressão de parte da cobertura para a instalação de terraços, destinados a lazer.

Estas transformações impuseram a necessidade de alteração dos pisos, tornando-os impermeáveis, em qualquer espaço do interior das casas ou em parte da sua cobertura.

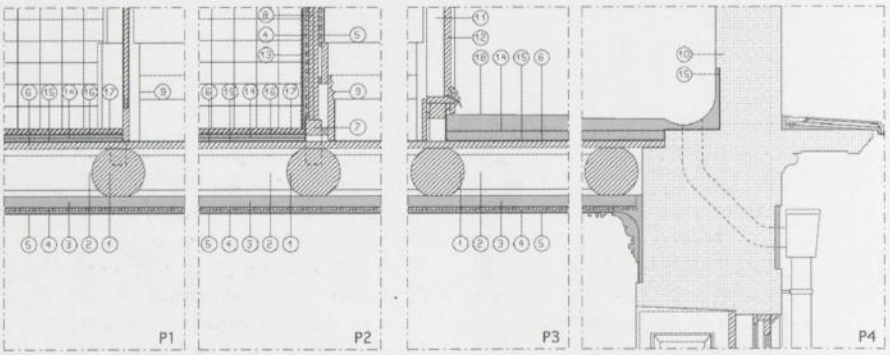
Sumariamente, pode referir-se que a execução destes pisos se efectuava directamente sobre o soalho existente (*Figura 2. Pormenores P1 e P2*), através da aplicação de uma fina camada de betonilha, em argamassa de cimento e areia, com pouco mais de 3,0cm de espessura, armada geralmente com rede de galinheiro. Seguidamente a superfície desta camada era queimada à colher, com pó de cimento, de modo a conferir-lhe as pretendidas propriedades impermeabilizantes. Esta característica podia ainda ser reforçada aplicando um revestimento final em mosaico hidráulico ou, mais recentemente, em mosaico cerâmico ou linóleo.

No que se refere aos terraços, o procedimento era idêntico (*Figura 2. Pormenores P3 e P4*). Contudo, a construção destes espaços só se tornou possível

BIBLIOTECA F.E. PORTO

com o surgimento de membranas betuminosas, cuja aplicação, nestes casos, era obrigatória. Adicionalmente, havia ainda o cuidado de garantir uma pendente da superfície da betonilha, destinada a facilitar o escoamento das águas pluviais junto à platibanda. Todos os remates de transições eram resolvidos através da aplicação de betumes. O revestimento destes pavimentos exteriores pode apresentar-se em mosaico hidráulico ou cerâmico ou, simplesmente, em betonilha afagada e queimada à colher.

Tratando-se de soluções tecnicamente muito rudimentares, estes pavimentos, e particularmente os exteriores, constituem uma fonte de avarias, sendo, por isso, frequentemente sujeitos a intervenções de manutenção, seja para a substituição de membranas impermeabilizantes ou reparação dos remates.



Legenda: 1-Viga do sobrado, 2-Tarugo, 3-Barrote, 4-Fasquio, 5-Reboco com acabamento estucado; 6-Soalho; 7-Travessanho; 8-Duplo tabuado; 9-Rodapé; 10-Platibanda; 11-Parede exterior de tabique; 12-Caixilho exterior; 13-Azulejo; 14-Betonilha armada; 15-Membrana de impermeabilização (cartão asfáltico, tela betominosa, polietileno); 16-Argamassa de assentamento; 17-Mosaico hidráulico; 18-Acabamento afagado e queimado à colher.

Figura 2: Modelo construtivo das casas burguesas do Porto - Pormenores tipo.

5 Bibliografia

[1] Teixeira, Joaquim - *Descrição do sistema construtivo das Casas Burguesas do Porto entre os séculos XVII e XIX. Contributo para uma história da construção arquitectónica em Portugal.* Porto: FAUP, 2004. Trabalho de Síntese elaborado no âmbito das Provas de Aptidão Pedagógica e Capacidade Científica.

[2] Oliveira, E. Veiga de, Galhano, Fernando - *Arquitectura Tradicional Portuguesa.* Lisboa: Publicações D. Quixote, 1992.

[3] Fernandes, Francisco Barata - *Transformação e permanência na habitação portuense. As formas da casa na forma da cidade.* Porto: Publicações FAUP, 1999.

PRINCIPIOS CONSTRUTIVOS JAPONESES QUE INFLUENCIARAM NA MELHOR DURABILIDADE DE EDIFICAÇÕES NO MUNICÍPIO DE TOMÉ-AÇÚ/PARÁ/BRASIL

Camila Thiemy Dias Numazawa[1]
camila.numazawa@gmail.com

Ângela do Valle[2]
angeladovalle@ecv.ufsc.br

Resumo

Após a abolição da escravatura no Brasil em 1888, houve a necessidade de reposição da mão de obra perdida na agricultura. O incentivo da imigração proporcionou em junho de 1908 a vinda dos primeiros agricultores japoneses ao Brasil. A plantação da pimenta do reino na década de 50 no município de Tomé-Açú no Estado do Pará, obteve grande sucesso, tornando possível a construção tão desejada pelos imigrantes de diversas edificações no estilo japonês em madeira. As edificações desta época são reconhecidas como uma arquitetura em estilo japonês, embora haja algumas adaptações arquitetônicas realizadas pelos mestres de obras japoneses, devidos à ausência de alguns materiais e mão de obra especializada na construção, além da diferença climática, uma vez que possuem composição interna, escala e elementos tipicamente japoneses. Este trabalho tem objetivo apresentar o estudo dos princípios construtivos aplicados em edificações em madeira de origem japonesa situadas no município de Tomé-Açú, bem como os fatores que permitiram às edificações com este sistema apresentar uma maior durabilidade, apesar da falta de manutenção nas construções situadas em região de clima tropico – úmido. O trabalho contempla o estudo de caso de três edificações distintas em seu entorno, sua escala, sua história e sua arquitetura. O resultado desse trabalho pretende colaborar com a apresentação de princípios construtivos japoneses que podem ser aplicados também na arquitetura contemporânea em madeira.

Palavras-chave: Arquitetura Japonesa, Princípios Construtivos, Madeira, Durabilidade, Tomé-Açú/Pará.

[1] Arq. Urb

[2] Professora de Engenharia Civil e Arquitetura da Universidade Federal de Santa Catarina.

1 Introdução

O desempenho e a durabilidade de um material estão relacionados através das suas propriedades físicas, propriedades mecânicas, condições climáticas no qual está sendo empregado, seus detalhes construtivos projetuais, o uso imposto, o tempo de solicitação da carga, a aplicação da carga e sua conservação.

Conforme [1], a questão da durabilidade é um dos princípios fundamentais quanto ao uso da madeira na construção. A baixa de durabilidade é relacionada como um grande limitante para que a madeira seja empregada, sobretudo quando se utiliza espécies de menor durabilidade natural.

As edificações milenares japonesas em madeira são exemplos de excelentes resultados obtidos pela disciplina e adequada projeção, execução e manutenção da madeira, dado pela boa durabilidade das edificações. Ao analisar o embasamento desta arquitetura, compreendeu-se que o seu fundamento técnico-cultural na criação e execução de obra é composto por três elementos: tipologia construtiva, escolha da espécie de madeira e um estudo de habitabilidade. Estes fundamentos são formados por técnicas hereditárias e confidenciais, que estão relacionadas diretamente na melhor durabilidade das edificações em madeira.

No Município de Tomé-Açú, no Estado do Pará, norte do Brasil, é possível encontrar este estilo arquitetônico portado com a imigração japonesa, que foi capaz de adaptar-se ao clima mais úmido e quente que o Japão, contudo, preservando as suas características principais.

O objetivo da pesquisa é analisar a influência das técnicas japonesas adotadas que influenciaram na boa ou má durabilidade da madeira, baseando-se nas técnicas construtivas e simbólicas dos estudos de caso.

2 Metodologia

Para iniciar a pesquisa, foi necessário o levantamento de dados bibliográficos, visitas in-loco foram realizadas em 2006 e 2007 e o cruzamento de dados.

As vistorias foram fundamentais para a escolha das edificações para o estudo de caso, análises e compreensão da arquitetura. Na tabela a seguir é possível observar o critério de avaliação das edificações escolhidas pela maior diversidade: diferença dos mestres carpinteiros, de suas áreas construtivas, de seus entornos, de suas localizações e de seus usos.

Tabela 1: Critérios de avaliação dos estudos de caso

Requisitos	Habitação 1	Habitação 2	Edificação Comercial
Ano da Construção	1964	1970	1948
Zona de origem	Rural	Rural	Urbana
Zona atual	Rural	Urbana	Urbana
Local de origem (bairro)	Breu	Água Branca	Centro
Local atual (bairro)	Breu	Centro	Centro
Uso da edificação	Habitacional	Habitacional	Comercial
Porte da construção	Grande	Pequeno	Grande
Quantidade de Pavimentos	2	1	2
Fotografia			

3 Técnicas construtivas e simbólicas que influenciaram na melhor durabilidade nas edificações estudadas

A umidade é um dos principais agente de deterioração, pois em excesso é capaz de provocar hidrolise ácida na madeira, isto é, faz com que sejam quebrados os grupos acetilas e com isso, gerando a formação do ácido acético, principal responsável pela degradação da madeira, e possibilitando a entrada de organismos xilófagos [2].

A tipologia da arquitetura japonesa impede que este processo de deterioração aconteça, pois retira o excesso de umidade nas peças através da correta ventilação na ossatura. Além disso, devido à tipologia construtiva não possuir elementos metálicos na sua estrutura, auxilia na diminuição de agentes químicos que possam degradar a madeira.

Na Figura 1 observam-se os detalhes construtivos de sambladuras, fixação dos elementos por cunhas de madeira, setas vermelhas (a) e a ventilação das paredes (b).

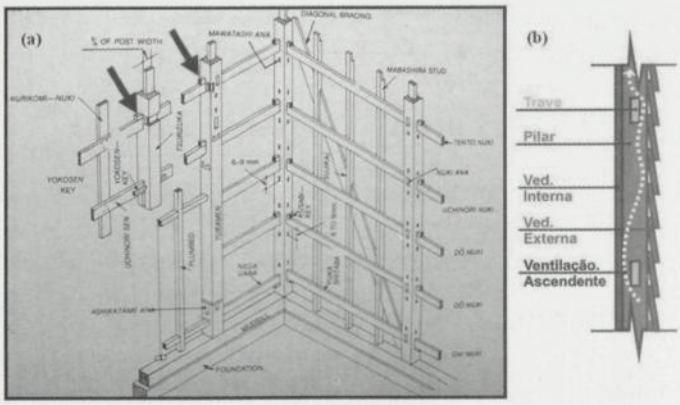


Figura 1: Detalhes construtivos.

A ventilação ascendente entre as paredes é exaustada pelos suspiros localizados na cobertura. Devido à possibilidade de evacuação e ventilação do ar, as estruturas estão em perfeito estado de conservação, apesar do acúmulo de sujidade devido à ausência de vistorias.

No que se refere à escolha de uma espécie de madeira de boa durabilidade natural, trata-se de uma alta resistência natural aos ataques de agentes biológicos e contato direto com o solo. A escolha correta espécie de madeira com uma boa durabilidade natural acrescentado um tratamento preservativo permite uma melhor vida útil para a estrutura.

Tabela 2: Madeiras utilizadas nas construções das edificações dos estudos de caso

Espécie	Durabilidade Térmitas	Durabilidade Fungos	Durabilidade Xilófagos Marinho	Durabilidade Contato com o solo
Maçaranduba *Manilkara huberi*, (Ducke) A. Chevalier	Alta	Alta	Baixa	Alta
Acapu *Vouacapoua americana*, Aubl.	Alta	Alta	Alta	Alta
Pau – amarelo *Euxylophora paraensis*, Huber	Alta	Baixa	Alta	Alta
Marupá *Simarouba amara*, Aubl.	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa
Freijó *Cordia goeldiana*, Huber	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada
Piquiá *Caryocar villosum* (Aubl.) Pers.	Alta	Alta	Alta	Alta

Observou-se o uso de madeiras com alta e moderada resistência aos organismos xilófagos ou marinhos, com exceção do marupá e freijó. Contudo com o emprego de tratamentos preservativos e locados em áreas onde não há contato com água ou grande variação de umidade, maximizou-se a vida útil da madeira.

O estudo de habitabilidade aborda que o corte da árvore deve ser feito no quarto minguante da lua, acreditando-se que a madeira torna-se mais resistente aos ataques de organismos xilófagos. Embora seja feito por motivo desta crença, a relação técnica confirma o fato. [3] explica que a Lua age sobre a Terra através da atração gravitacional quando ela atua como imã puxando a maré em sua direção enquanto do outro lado está sendo impelido na direção contrária (Figura 2).



Figura 2: Influência da Lua na maré.

De acordo com [4], as árvores também sofrem essa influência, pois nesta fase lunar, sua influencia é mínima, predominando a atração gravitacional do terrestre. Conseqüentemente, a quantidade de seiva no caule e na copa é menor, se concentrando e fortificando mais a raiz. A resistência contra os ataques dos insetos xilófagos se dá, dado à menor concentração de seiva bruta e água no fuste.

Outra crença é produzida através da permanência das toras de madeira submersas durante duas semanas em água limpa e corrente, que auxilia na resistência aos ataques de organismos xilófagos. Este tratamento decompõe o alburno, que por ser composto de células vivas e ser por mais higroscópica do que o cerne, através da lixiviação da água [5]. Com a eliminação do alburno, e por conseqüência a seiva bruta, suprime a principal fonte de alimentação dos organismos xilófagos na madeira.

A setorização e ventilação na arquitetura japonesa possuem um aspecto muito importante espiritualmente pela tradição. A purificação da casa e a proteção familiar são baseadas nos princípios da emanação espiritual que os ven-

tos podem portar. A crença de que os "maus fluídos" localizados no momento da limpeza pessoal com o elemento água, como a sala de banho, podem invadir a residência trazendo doenças e má sorte. A explicação técnica pode ser dada através do excesso de umidade dos ambientes de área molhada, que contribuem com a proliferação de doenças que são levadas pelos ventos predominantes a outros ambientes, contaminando-os. Eis a razão da presença das áreas secas serem sempre dispostas a favor da direção principal dos ventos e as áreas molhadas na direção oposta. Além disso, esta setorização contribui na melhor durabilidade dos elementos em madeira de uma construção devido à menor concentração de umidade relativa no ar.

Apesar de ter um caráter inicial religioso, pela aproximação com Deus, e um caráter térmico pela aproximação dos campos de arroz, essa altura permite a ventilação sob a estrutura, eliminando assim a umidade excessiva que poderia aparecer e propiciar danos a mesma. Este fato é comprovado pelo fechamento da área de ventilação da Edificação Comercial que causou o surgimento de fenômenos patológicos descrito anteriormente.

Embora a Habitação 1 e o Edifício Comercial apresentarem uma grande variação de presença de fenômenos patológicos, ressalva-se que a causa geralmente foi provocada ou pelo descaso do homem, ou pela sua falta de conhecimento e aplicação de suas técnicas. Enquanto a Habitação 2, ela apresenta um bom exemplo de conservação, tendo em vista que a sua manutenção foi regular.

Apesar do descaso com a estrutura das edificações pela ausência de vistoria, nota-se que ela encontra-se mesmo depois de anos, em excelente estado de conservação, mesmo se encontrando em um clima agressivo para a maior durabilidade da madeira.

4 Bibliografia

[1] Oliveira, R. N., Macedo, A. N. *Analise da durabilidade para construções em madeira.* In: IX Encontro Brasileiro em Madeira e em Estruturas, 2004, Cuiabá – MT. IX Encontro Brasileiro em Madeira e em Estruturas, 2004, Cuiabá – MT v.01. pp. 1-14.

[2] Suchsland, O., Woodson, G. E. *Fiberboard manufacturing practices in the United States.* Madison: Forest Products Reasearch Society, 1991.

[3] Lopes, W. *Efeito das marés sobre o sistema Terra-Lua.* Revista Brasileira de Ensino A Fisica, São Paulo, v. 18, n. 4, pp. 286-292, dez. 1996.

[4] Carlier, H. *The moon and agriculture.* Leisa Magazine: Low External Input Sustainable Agriculture Magazine, Netherlands, v. 3, n. 1, pp. 20-24, 1987.

[5] Condephaat (São Paulo), Kuniyorhi, C., Pires, W. *Casarão do chá: Mogi das Cruzes.* São Paulo: IMESP, 1984.



SESSÃO XX

ESTUDO DE CASOS

CARACTERIZAÇÃO CONSTRUTIVA E DE ANOMALIAS CORRENTES NOS EDIFÍCIOS DE ALVENARIA DE ADOBE

O Caso de Estudo de Aveiro

Carina Fonseca Ferreira[*]
carinafferreira@ua.pt

Romeu Vicente[†]
romvic@ua.pt

Aníbal Costa[‡]
agc@ua.pt

Humberto Varum[§]
hvarum@ua.pt

Resumo

As inspecções realizadas a edifícios em alvenaria de adobe na cidade de Aveiro permitiram efectuar um levantamento construtivo e patológico desse património singular. Partindo dos relatórios elaborados, o presente artigo faz uma síntese das características construtivas dos edifícios inspeccionados, relativamente aos tipos de paredes, à constituição das estruturas em madeira quer dos pavimentos quer das coberturas, e ainda expõe e comenta as anomalias mais correntes.

Palavras-chave: Edificado Antigo, Sistemas Construtivos, Alvenaria de Adobe, Anomalias.

1 Introdução

As características geomorfológicas, sociais e económicas de Aveiro determinaram o uso generalizado do adobe, nomeadamente nas paredes resistentes de alvenaria, a partir dos finais do Séc. XIX e até meados do Séc. XX.

A construção em adobe na região de Aveiro detém um valor patrimonial que reside, sobretudo, na arquitectura vernácula [1], ou seja, os modelos arquitectónicos bem definidos são escassos se comparados com os edifícios construídos pelo saber e iniciativa das gentes que os habitaram que, deste modo,

[*] Mestre em Engenharia Civil, Dep. Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, Portugal.
[†] Professor Auxiliar, Dep. Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, Portugal.
[‡] Professor Catedrático, Dep. Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, Portugal.
[§] Professor Auxiliar, Dep. Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, Portugal.

criaram um edificado único e plural. Por outro lado, a emulação e o mimetismo social são uma característica bastante presente no período de domínio do adobe, sendo que alguns contratos de empreitada ou ajuste de obra, celebrados perante os notários da cidade, fazem referência a casas existentes como exemplos tipológicos a seguir [2].

2 Aspectos construtivos dos edifícios em adobe

2.1 Generalidades

Foram inspeccionados edifícios em adobe pertencentes a 3 tipologias (ver Figura 1) classificadas de acordo com a função e o número de pisos: edifícios de dois pisos, com e sem sótão habitado, com rés-do-chão ocupado por comércio e/ou serviços e um piso habitado (tipologia A); habitações com um piso, com ou sem sótão habitado (tipologia B); e edifícios com um piso destinados à pequena indústria ou a funções associativas (tipologia C). As preocupações estéticas e arquitectónicas decrescem desde a tipologia A até à C, sendo esta última a que, geralmente, apresenta um pior estado de conservação.



Figura 1: Exemplos de edifícios estudados: tipologias A, B e C.

2.2 Paredes exteriores e interiores

As espessuras das paredes exteriores em adobe variam tipicamente entre 0.30 e 0.53 m, em função do tipo de aparelho e de assentamento. A análise da relação entre a espessura das paredes resistentes e a altura dos edifícios não revela uma tendência clara. Quanto ao tipo de argamassa de assentamento utilizada, os levantamentos efectuados, bem como estudos anteriores [3], referem que as argamassas de assentamento correntes são compostas por cal hidratada, terra local e areia (proporção volumétrica 1:1:2). Os revestimentos originais

mais comuns são as argamassas de saibro** e cal ou areia e cal, com acabamento a pintura ou estuque.

As paredes interiores tradicionais das tipologias A e B estudadas são normalmente em tabique, com espessuras compreendidas entre 9 e 15cm, cujo fasquiado é revestido com rebocos de argamassa de saibro e cal e, por vezes, com acabamento a estuque. A tipologia C é geralmente desprovida de paredes interiores devido à função que desempenha, no entanto, um dos edifícios inspeccionados revelou um sistema com paredes em alvenaria de adobe de 20cm de espessura, revestidas a argamassa de saibro e cal e pintadas.

2.3 Pavimentos, tectos e coberturas

Tradicionalmente, os pavimentos e coberturas são em estrutura de madeira de pinho nacional, disponível na região.

Os pisos das cozinhas e casas de banho, bem como os pisos térreos das tipologias A e C, são normalmente revestidos com betonilha ou argamassa de areia e cal, servindo comummente estes revestimentos como base de assentamento para ladrilhos cerâmicos.

Os pisos elevados mais comuns são compostos por: estuque sobre fasquiado ou forro (ver Figura 2a e 2b); barrotes de madeira (p. e. c/secção 5x5 cm^2); vigas estruturais apoiadas directamente nas paredes resistentes (p. e. c/secção 20x25 cm^2) e soalho de madeira com cerca de 2.5 cm de espessura. A construção recente de lajes aligeiradas e de outros elementos de betão armado é um procedimento comum na tipologia A, consequente ao aumento das exigências estruturais provenientes de alterações funcionais no rés-do-chão, nomeadamente a instalação de zonas comerciais ou destinadas a garagens que necessitam de espaços mais amplos do que os originais.

As coberturas da tipologia C são normalmente visíveis pelo interior, pelo que a respectiva caracterização foi mais pormenorizada. Estas coberturas baseiam-se em sistemas constituídos por: asnas apoiadas directamente nas paredes resistentes; madres (p. e. c/secção 10x10 cm^2) e sistema de varas e ripas, onde assentam as telhas cerâmicas do tipo marselha. Foi visualizada apenas uma estrutura com forro de cobertura assente sob o ripado (ver Figura 2c). As asnas observadas são compostas por pernas, pendural e linha (p. e. c/secção 10x15 cm^2, 10x15 cm^2 e 15x15 cm^2, respectivamente). Observou-se, ainda, a estrutura de uma cobertura da tipologia A, sem asnas, estando as varas assentes na cumeeira (c/secção 10x20 cm^2) apoiada directamente nas paredes resistentes. Todas as coberturas inspeccionadas possuem frechal assente sobre a parede resistente. Os registos dos edifícios em adobe (peças desenhadas),

** Saibro: areia gorda, bem graduada.

existentes no Arquivo Municipal de Aveiro, mostram que, quando se pretendia nos sótãos um pé direito que permitisse o aproveitamento destes espaços, as asnas eram compostas por um pendural curto unido a uma linha a cota elevada que, por sua vez, ligava às pernas, estando estas assentes em elementos horizontais curtos apoiados nas paredes resistentes e, por vezes, ligados às pernas por prumos ou escoras.

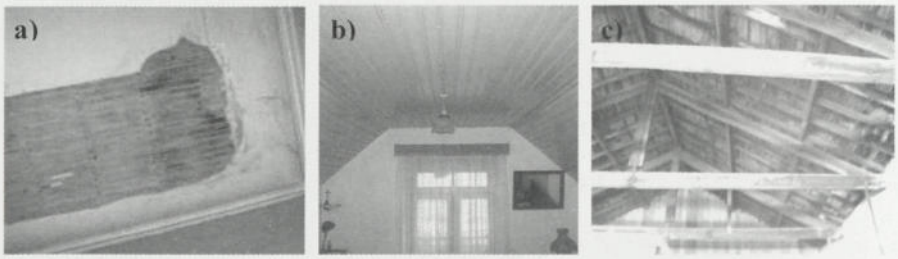


Figura 2: Tectos e cobertura: a) estuque sobre fasquiado; b) forro de madeira; e c) estrutura de cobertura.

3 Anomalias correntes nos edifícios em adobe

3.1 Problemas associados à humidade

A presença de humidade, nomeadamente na forma de manchas, quer nas paredes quer nos tectos, e o desenvolvimento de fungos e bolores, é uma das principais anomalias observadas nos edifícios em adobe inspeccionados.

As principais causas para o aparecimento dos problemas associados à humidade são as infiltrações e a humidade ascensional. Esta última é especialmente relevante nos edifícios situados junto aos canais da ria de Aveiro, onde, em alguns casos, as anomalias foram consideravelmente agravadas ao longo dos tempos devido à subida de marés. No que diz respeito às infiltrações de água nos edifícios, estas devem-se, essencialmente, aos seguintes problemas: i) falta de manutenção do sistema de recolha de águas pluviais; ii) encaixe deficiente ou fracturas nas telhas; iii) fissurações nas paredes exteriores; e iv) junta mal executada entre coberturas contíguas. As paredes meeiras de edifícios contíguos ou de empena são as que, no geral, se apresentam mais afectadas pelas infiltrações.

Os edifícios inspeccionados apresentam, geralmente, nas superfícies interiores das paredes e nos tectos, eflorescências e criptoflorescências, resultantes da cristalização de sais dissolvidos na água, decorrente do processo evaporati-

vo, quer à superfície quer no tardoz do revestimento final. As criptoflorescências estão na origem dos empolamentos e destacamentos verificados nos revestimentos interiores das paredes.

A entrada de água, quer devido a infiltrações quer consequente da ascensão capilar, causa, ainda, a degradação acelerada das estruturas em madeira das coberturas, pavimentos e paredes de tabique.

3.2 Fissuração

As fissuras podem apenas afectar restritamente as camadas de revestimento ou, ainda, formar-se ao nível dos suportes atingindo os revestimentos. As expansões e retracções a que os revestimentos estão sujeitos, bem como as condições de aderência ao suporte e a aplicação de técnicas inadequadas, estão associadas à formação de fissuras nas camadas de revestimento [4]. As retracções são especialmente importantes em revestimentos à base de argamassas de cimento. As fissuras que se formam ao nível dos suportes ocorrem, essencialmente, nas seguintes zonas: na superfície corrente das paredes e dos tectos; nos cantos das aberturas e na ligação entre paredes ortogonais (situação mais observada nas zonas de ligação entre paredes exteriores em alvenaria de adobe e interiores em tabique nos edifícios da tipologia A).

As principais causas para as fissuras observadas são: i) os assentamentos das fundações dos edifícios (motivados por obras realizadas nas imediações, por exemplo a construção de um túnel); ii) os impulsos horizontais das coberturas sobre as paredes; iii) a fraca ligação entre paredes ortogonais; e iv) a concentração de tensões nos cantos das aberturas ou na zona de entrega das vigas de madeira sobre as paredes.

3.3 Degradação dos revestimentos e suportes

A falta de qualidade mas, sobretudo, a introdução de revestimentos incompatíveis com o suporte existente (alvenaria de adobe), nomeadamente as argamassas de base cimentícia aplicadas, propiciam a degradação das paredes de adobe (humedecimento prolongado). Essa incompatibilidade agrava, por um lado, a fissuração dos revestimentos que, deste modo, deixam de proteger eficazmente as alvenarias de adobe da água das chuvas, e, por outro lado, dificulta as trocas de vapor de água, retendo humidade no suporte. Alguns edifícios da tipologia C apresentam, também, paredes meeiras com grande parte da superfície afectada pela queda do revestimento, estando a alvenaria de adobe desprotegida.

Juntamente com os efeitos directos da água da chuva, os ciclos de cristalização/dissolução de sais higroscópicos (os cloretos são especialmente impor-

tantes em Aveiro visto ser uma área próxima da costa) são uma causa importante para a degradação dos revestimentos. Particularmente, as criptoflorescências, que se formam na interface entre o revestimento com base cimentícia e a alvenaria de adobe, originam erosão interna, destacamento e queda do revestimento [5]. Após o destacamento do revestimento, as paredes em alvenaria de adobe desprotegidas sofrem a erosão provocada pela acção combinada da chuva com o vento.

4 Comentários finais

Importa sublinhar que o património em adobe da cidade de Aveiro sofreu mutações, por vezes profundas, que comprometeram irremediavelmente a sua autenticidade, como a substituição de tabiques por alvenarias de tijolo, de estruturas em madeira dos pavimentos e coberturas por lajes de betão armado e de argamassas tradicionais de cal por revestimentos com base cimentícia. Estas intervenções erróneas e incompatíveis com a tecnologia construtiva original prejudicam ao nível estrutural e patológico este património singular em terra, agravando ou originando novas anomalias.

5 Agradecimentos

Os autores agradecem aos alunos que colaboraram nas inspecções aos edifícios e à Câmara Municipal de Aveiro o apoio logístico prestado e a informação cedida.

6 Bibliografia

[1] Fernandes, M. *O Adobe e as Alvenarias de Adobe em Portugal. Terra em Seminário 2007*: pp.116-119. Aveiro: Argumentum, 2007.

[2] Rodrigues, M. F. *A Construção Civil em Aveiro, 1860-1930: Notas para a sua Compreensão Histórica. A Indústria Portuense em Perspectiva Histórica*, 1998: pp. 303-319.

[3] Oliveira, D. *et al. Caracterização Experimental do Comportamento Diferido de Alvenaria de Adobe. Terra em Seminário 2007:* pp.71-74. Aveiro: Argumentum, 2007.

[4] Sosa, M. *et al. Degradación de las Superficies de Muros de Adobes por Acción del Intemperismo*. Fourth International Adobe Conference of the Adobe Association of the Southwest, Maio 2007: pp. 66-71.

[5] Rodrigues, P. F. *Earth Construction Conservation: Pathologies due to Water. Houses and Cities built with earth*. Lisboa: Argumentum, 2006.

ANÁLISE DO GRAU DE DETERIORAÇÃO NAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

Estudo de Edifício Residencial na Região Metropolitana do Recife – Pernambuco

Eudes de Arimatéa Rocha[*]
eu_des@hotmail.com

Milena do Rego de Souza[†]
milena_albertim@yahoo.com.br

Eliana Cristina Barreto Monteiro[‡]
nana.monteiro@uol.com.br

Romilde Almeida de Oliveira[§]
romildealmeida@gmail.com

Resumo

A cada dia, mais construções apresentam deterioração precoce. E como nenhum material é inerentemente durável, as edificações não foram projetadas nem construídas para durarem eternamente. Principalmente porque, infelizmente no Brasil ainda não havia uma cultura focada no sentido de conservar ou realizar manutenções periódicas nas edificações. Essa cultura surge agora como sinais tênues nos responsáveis pelas construções, em face da crescente preocupação com os conceitos de durabilidade e vida útil.

Esta pesquisa avaliou o grau de deterioração e as possíveis patologias encontradas no estudo de caso realizado num edifício residencial de 33 anos, localizado em Recife – Pernambuco. A metodologia de inspeção baseou-se em entrevistas preliminares com os responsáveis da edificação para verificar a existência de rotina de manutenção das estruturas. Em seguida realizou-se uma inspeção visual da estrutura e um levantamento dos projetos arquitetônicos e estruturais. Após esta etapa executou-se os ensaios de profundidade de carbonatação e esclerometria para quantificar a extensão da deterioração. Após análise do edifício, verificou-se que apesar do edifício estar localizado em classe ambiental de agressividade forte (III), segundo a NBR 6118 (2003), existia uma barreira de proteção que evita a incidência direta de névoa salina sobre a estrutura. Constatou-se por sua vez que a área mais deteriorada da edificação foi o pavimento do subsolo tendo em vista a exposição de armaduras aos gases de monóxido de carbono dos automóveis e ainda diversas infiltrações generalizadas decorrentes de fissuras no revestimento da laje superior sugerindo uma intervenção imediata na estrutura a fim de não se agravar o estado de degradação da mesma.

Palavras-chave: Inspeção, Patologia, Recuperação.

[*] Bolsista de Iniciação Científica e aluno graduando de Eng. Civil da Uni. Pernambuco.
[†] Bolsista de Iniciação Científica e aluna graduanda de Eng. Civil da Uni. Pernambuco.
[‡] Engenheira civil e professora doutora da Universidade de Pernambuco.
[§] Engenheiro civil e professor doutor da Universidade de Pernambuco.

1 Introdução

Sabe-se que entre a década de 60 e inicio da de 70, a durabilidade das edificações não era um assunto de grande interesse. No entanto na segunda metade da década de 70, com o início da crise econômica mundial, o quanto provavelmente durará uma edificação começa a ser cogitado no meio da construção civil, pois na época, exigia-se a diminuição dos custos ao máximo. Entretanto apesar desta preocupação, constatamos hoje algumas estruturas que mostram desempenho insatisfatório, se confrontadas com as finalidades a que se propunham.

Os critérios de desempenho de uma estrutura em concreto armado, não são estabelecidos ou descritos de forma adequada. Uma vida útil que garanta a durabilidade do concreto empregado, poderá ser atingida com a utilização mínima do cobrimento das armaduras, limitação da relação água – cimento e controle na abertura de fissuras, entre outros. Entretanto se tais fatores não forem considerados durante a fase de projeto e execução, ou se não houver uma rotina de manutenção preventiva dos edifícios e seus materiais certamente ocorrerá o desgaste da estrutura.

Diante do exposto, esta pesquisa realizou um estudo de caso das principais manifestações patológicas encontradas durante uma inspeção em um edifício residencial localizado na Região Metropolitana do Recife e com 33 anos de construído, visando avaliar e diagnosticar as possíveis patologias encontradas.

2 Procedimento Experimental.

2.1 Introdução

As bibliografias especializadas (CASTRO, 1994) indicam que a sistemática recomendada para uma avaliação estrutural deve ser realizada por etapas de forma que nenhum problema ou manifestação patológica passe despercebido. A Figura 1 a seguir mostra a rotina de uma inspeção na estrutura de concreto.

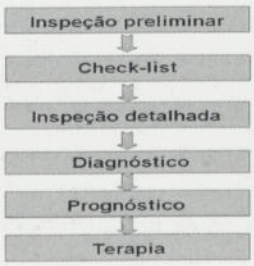


Figura 1: Atividades envolvidas na rotina de inspeção predial.

2.2 Entrevista Preliminar

Inicialmente foi realizada uma entrevista com os responsáveis pela edificação, a qual teve como objetivo verificar se havia algum tipo de rotina de manutenção nas estruturas. Vale salientar que o responsável pela edificação não possuía qualquer projeto, de arquitetura ou de estrutura, da edificação.

2.3 Inspeção Visual e Detalhada

Esta inspeção teve como objetivo permitir a definição da natureza e causa do problema, incluindo:

- Inspeção visual de toda a estrutura, e realização de um levantamento fotográfico;
- Anotação de todos os sintomas visuais (manchas de óxidos, fissuras, desagregação, eflorescência, etc);
- Identificação da agressividade do ambiente (suave, moderada ou agressiva);
- Eliminação do cobrimento do concreto em alguns pontos singulares, para a observação visual direta das armaduras fotografando as zonas de extração dos testemunhos e tomando nota de:
    a) Espessura do cobrimento;
    b) Redução de diâmetro da armadura;
    c) Aspectos do concreto.

A inspeção visual detalhada pode ser realizada como passo prévio a uma intervenção ou simultaneamente com ela, porém deve se ter em conta que uma inspeção detalhada pode não ser necessária em certas ocasiões (Andrade, 1992).

2.4 Análise dos Dados e Diagnósticos

Esta análise foi feita de forma pormenorizada, para evitar que as anomalias mais graves não fossem detectadas por estarem ocultas por anomalias superficiais, assim foi verificado se não houve mais de um fator gerador do sintoma patológico que estava sendo analisado.

O diagnóstico foi realizado após a conclusão do levantamento e análise dos dados. Após essa fase, iniciaram-se os estudos das possíveis alternativas que poderiam solucionar os problemas apresentados, levando em consideração a relação custo/benefício, como também a viabilidade técnica e de segurança. Foram elaborados relatórios com a descrição dos problemas encontrados e a alternativa de recuperação ou reforço para os mesmos.

3 Estado da Estrutura

Nosso estudo de caso ocorreu no edifício residencial do tipo pilotis com 13 pavimentos, sendo um térreo, um pilotis e onze pavimentos tipo contendo dois apartamentos por pavimento. O edifício localizava-se numa zona de Grau de Agressividade Forte ou seja segundo a NBR – 6118 (2003), este edifício foi classificado como Classe de Agressividade III. Entretanto o mesmo também se localizava numa região bastante arborizada, que de certa forma protege a edificação da névoa salina que é prejudicial para a edificação.

As principais manifestações patológicas encontradas na edificação durante a inspeção, foram a corrosão acentuada das armaduras dos pilares no pavimento semi-enterrado e a lixiviação dos materiais constituintes da laje do pilotis havendo a formação de estalactites. Notou-se também que o edifício em estudo não possuía nenhuma espécie de rotina de manutenção predial, recorrendo-se a serviços de correção superficial quando surge algum problema na edificação.

Nas Fotos 1 e 2 percebe-se a formação de estalactites provenientes da lixiviação de materiais constituintes do concreto da laje da garagem. Nesta laje constata-se a presença de bastante umidade resultante da infiltração das águas pluviais a partir das placas de ardósia colocadas na parte superior da laje da garagem. Vale salientar que a ardósia é uma pedra com dilatação térmica bastante elevada, sendo necessária a manutenção periódica do rejunte utilizado para vedar este material, fato que não foi considerado na edificação estudada. Este fator associado à falta de impermeabilização adequada nas jardineiras ocasionaram o surgimento de manchas de umidade das lajes e vigas do pavimento semi-enterrado. É importante ainda ressaltar a presença de umidade nas estruturas de concreto armado é um fator que acelera a corrosão das armaduras.

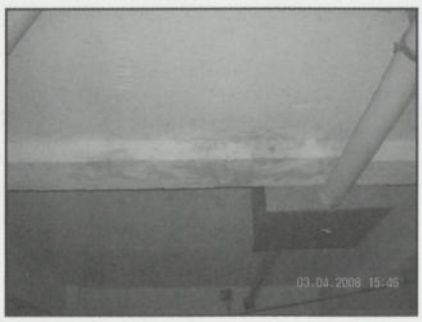


Foto 1: Manchas de infiltração.



Foto 2: Formação de estalactites.

Outra manifestação patológica observada foi a corrosão das armaduras dos pilares da garagem (pavimento semi-enterrado), uma vez que esta é uma área

com grande presença do gás monóxido de carbono. Este gás adicionado ao baixo valor de cobrimento (inferior a 3 cm – valor recomendado pela NBR 6118:2003) fomentou as condições ideais para a corrosão das armaduras dos pilares, principalmente nos trechos inferiores. Para determinar o grau de corrosão das armaduras, utilizou-se indicadores químicos, como a timolftaleína e fenolftaleína, para indicar a profundidade de carbonatação nos pilares. Observe as Fotos 3 e 4.



Foto 3: Cobrimento insuficiente.

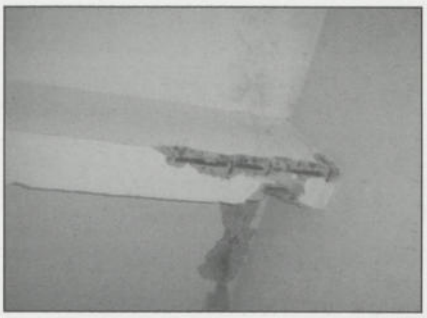


Foto 4: Corrosão das armaduras.

4. Discussão dos Resultados

Levando-se em consideração que a edificação está inserida num meio cujo grau de agressividade ambiental é bastante elevado, mas que devido à proteção de vegetações que minimizam a ação direta e degradante da névoa salina na estrutura da edificação constatou-se que os principais fatores responsáveis pelo surgimento de patologias do concreto nesta edificação foram justamente a ausência de manutenção predial preventiva associada à práticas rudimentares durante a construção da edificação.

É fundamental ressaltar a necessidade de se conhecer a tecnologia dos materiais de construção de forma a saber onde e quando empregá-los de forma a evitar o surgimento de manifestações patológicas oriundas de sua má aplicação. Foi o caso das placas de ardósia do pavimento pilotis e das pastilhas de cerâmicas aplicadas na fachada sem juntas de trabalho, facilitando a entrada de água na estrutura.

Tendo em vista que muitas patologias do concreto do edifício em estudo foram decorrentes da fase de execução do mesmo. Considerando a dificuldade ou mesmo a impossibilidade de atuar nos fatores de agressividade ambiental, o controle dos vícios construtivos é de suma importância para o prolongamento da vida útil das estruturas.

É imperiosa a necessidade do cumprimento das normas técnicas estabelecidas pela ABNT e a rigorosa inspeção do cumprimento da mesma. Ressalta-se a

importância da qualificação da mão-de-obra da indústria da construção civil em todos os níveis. Sugere-se a conscientização de responsabilidade do proprietário da edificação quanto à necessidade da manutenção periódica, cuja falta ou realização de maneira inadequada ou insuficiente, contribui para o desenvolvimento do dano.

5. Bibliografia

[1] CASTRO, E. K. *Desenvolvimento de metodologia para manutenção de estruturas de concreto armado*, Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, 185p, Dezembro, 1994.

[2] ANDRADE, C. (1992), *Manual para diagnóstico de obras deterioradas por corrosão de armaduras*, Editora Pini, S. Paulo, 104 p.

[3] NBR 6118 (2003), *Projeto e execução de obras de concreto simples, armado e protendido.*

REABILITAÇÃO E AMPLIAÇÃO DE UM EDIFÍCIO NA RUA VICTOR CORDON, Nº11, EM LISBOA

Projecto e Obra

José Delgado*
jose.delgado@a2p.pt

João Appleton†
joao.appleton@a2p.pt

João Saraiva‡
joao.saraiva@a2p.pt

Resumo

Esta comunicação apresenta as principais soluções adoptadas no reforço, reabilitação e ampliação de um edifício habitacional na Rua Victor Cordon, nº11, em Lisboa.

Trata-se de um edifício com estrutura pombalina, construído no final do século XVIII, com frontais de madeira preenchidos por alvenaria, assentes em arcos existentes ao nível do R/C, que transmitem as cargas em profundidade.

As intervenções de reabilitação geral do edifício basearam-se em metodologias simples, mantendo a utilização de materiais e soluções tradicionais. De salientar a premissa inicial, que assentou na manutenção da estrutura interior e exterior do edifício existente, com as devidas adaptações necessárias ao cumprimento do Projecto de Arquitectura, da autoria da RISCO.

A exiguidade dos espaços públicos exteriores para estacionamento suportou a opção do promotor de introduzir parqueamento no edifício, através da execução de uma cave. Para o efeito, adoptou-se um processo construtivo baseado na escavação de poços com 5m de profundidade e no recalçamento geral do edifício com perfis metálicos.

A introdução de um piso adicional foi realizada com elementos leves, nomeadamente com o uso de estrutura metálica e de madeira, que permitiu reduzir os efeitos da acção sísmica.

Palavras-chave: Reabilitação, Reforço, Frontal, Alvenaria.

* Engenheiro Civil, A2P Consult, Lisboa.
† Engenheiro Civil, A2P Consult, Lisboa.
‡ Engenheiro Civil, A2P Consult, Lisboa.

1 Introdução

O edifício situa-se em plena zona histórica do Bairro Alto, tendo sido construído nos finais do século XVIII e apresenta soluções estruturais típicas da época. Todo o edificado envolvente, onde também se integra o presente edifício, se caracteriza por metodologias construtivas similares, assentes em paredes exteriores espessas de alvenaria e paredes interiores estruturais do tipo frontal, resultantes de imposições legais após o sismo de 1755.

A sua utilização como edifício habitacional e a não manutenção do mesmo, resultaram num conjunto de anomalias que conduziram à degradação de paredes e, essencialmente, dos pavimentos. A intervenção em curso no edifício resultou de um conjunto de requisitos impostos pelo actual proprietário, no sentido de promover a reabilitação geral do edifício, a introdução de uma cave de estacionamento e a sua ampliação, em altura, com a introdução de um piso habitacional. Estas últimas exigências conduziram à necessidade de reforçar os respectivos elementos estruturais.

Pretende-se nesta intervenção promover uma nova adaptação funcional do existente, reabilitar e reforçar o que é mantido, incluindo para a acção sísmica. Por imposição das entidades públicas, foi necessário manter toda a estrutura interior e exterior, aumentando a complexidade da intervenção.

2 Descrição da Estrutura Existente

O edifício apresenta uma estrutura típica das construções pombalinas, compondo-se de um piso térreo (Rés-Chão), três pisos elevados, sótão e cobertura. A área de implantação é, aproximadamente, de 200 m^2.

A estrutura existente assenta num conjunto de paredes exteriores em alvenaria, com espessura variável de 0.60 m a 0.80 m, constituída por pedra irregular envolta em argamassa de cal e areia. As paredes de frontal interiores, que serão mantidas, apoiam-se num conjunto de arcos existentes ao nível do Rés-Chão que transferem as cargas verticais em profundidade. Os pavimentos são constituídos por vigamentos de madeira que suportam o respectivo soalho. As anomalias nos elementos estruturais eram diversas, destacando-se:

— ataque do caruncho da madeira nos vigamentos e soalho dos pavimentos e elementos de madeira dos frontais;
— ataque por fungos que originaram a podridão dos vigamentos dos pavimentos e elementos de madeira dos frontais;
— deformação excessiva e incapacidade resistente dos pavimentos para as sobrecargas regulamentares;
— deficiente entrega e ligação dos vigamentos nas paredes de fachada e de empena.

As fundações do edifício assentam em camadas geotécnicas características daquela zona da cidade, constituídas por formações denominadas de Areolas da Estefânia, com importantes intercalações Calco-Areniticas com espessura variável. Não foi detectada água freática.





Figuras 1, 2 e 3: Fachada do Edifício. Arcos do Rés-Chão. Pavimentos degradados.

3 Intervenção Estrutural de Reabilitação, Ampliação e de Reforço

As premissas principais impostas pelo Dono de Obra reflectidas através do Projecto de Arquitectura, assentam no seguinte:

— Reformulação dos espaços para garantir as características e tipologias habitacionais desejáveis.
— Existência de estacionamento afecto a cada fracção habitacional, havendo necessidade de introduzir uma cave no edifício, ocupando parcialmente o logradouro.
— Ampliação, em altura, do edifício com a introdução de um piso habitacional.
— Reabilitação geral e reforço os elementos estruturais e não estruturais do edifício.

3.1 Cave para Estacionamento e Recalçamento do Edifício

A cave apresenta, em geral, um pé-direito de 4.0 m, tendo, na zona mais profunda localizada no logradouro, uma altura total de 6.0 m. O acesso à cave é realizado através de um montauto, em que a viatura após sair daquele, entra numa placa giratória que lhe facilita a manobra. O estacionamento é realizado através de um sistema de prateleira, em que cada conjunto permite acomodar 2 viaturas. São disponibilizados 8 lugares de estacionamento. Na construção da cave e da laje térrea o faseamento do trabalho foi o seguinte:

1º - Execução alternada de poços com cerca de 1.5 x 1.5 m² e profundidade de 5.0 m junto das empenas, das fachadas, dos pilares e da caixa do elevador.

2º - Construção dos muros de suporte para recalçamento das empenas e fachadas, dos pilares e da caixa do elevador.

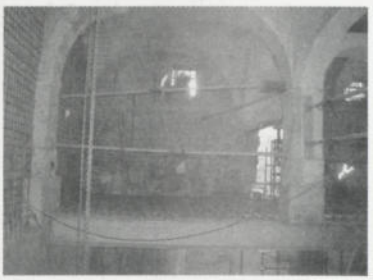
3º - Após execução dos principais elementos estruturais de suporte procedeu-se ao recalçamento geral do edifício com estrutura metálica.

4º - Finalizado o referido recalçamento prosseguiu-se com a escavação, adoptando equipamentos e máquinas que permitiram uma maior rentabilização dos trabalhos.

5º - Execução da laje do piso do rés-do-chão com 13 cm de espessura, recorrendo a uma solução mista com lajes do tipo colaborante.

Os poços foram realizados por operários especializados (poceiros), utilizando meios de fraca potência, decorrendo durante um período de tempo alargado devido à sua complexidade, ao tipo de terreno atravessado e à profundidade dos poços.





Figuras 4, 5 e 6: Poços, Execução do Muro de Suporte e Recalçamento de Arcos.

A zona da cave localizada no logradouro, com profundidade de 6.0 m, foi realizada com recurso a paredes executadas pela técnica berlinesa com micro-estacas, pregada ao terreno com varões ∅25 mm que atingiram profundidades da ordem dos 5.5 m nos níveis inferiores e de 7.5 m nos níveis superiores.

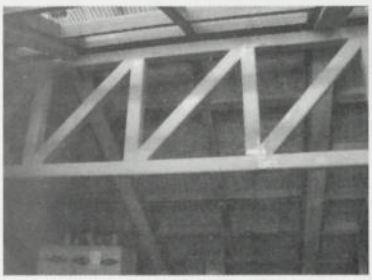
3.2 Ampliação do Edifício em Altura

A introdução de um novo piso habitacional conduziu à ampliação, em altura, do edifício. Para o efeito foi necessário desmontar a cobertura original e proceder-se à desmontagem, elevação em cerca de 60 cm e reposicionamento final de uma clarabóia que o IPPAR exigiu preservar. A nova estrutura que constitui as paredes e pavimentos assentou em soluções simples e de materiais leves, controlando o agravamento dos efeitos da acção sísmica. Promoveu-se assim a utilização de materiais como a madeira e o aço, apropriados para este tipo de intervenções.

Todas as paredes novas interiores são do tipo frontal, executados com elementos de madeira e preenchimento com alvenaria. As paredes exteriores foram realizadas com recurso a perfis metálicos, entre os quais se adoptaram

panos de alvenaria de tijolo convencional. O novo pavimento é constituído por perfis metálicos, que suportam elementos de madeira e o respectivo soalho.

A estrutura da cobertura é essencialmente constituída por perfis metálicos. Realça-se a introdução da viga treliçada com 12 m de vão para a cumeeira, que suporta os vigamentos principais formados por HEA200. As madres são constituídos por elementos de madeira.





Figuras 7 e 8: Treliça da Cumeeira. Novas Paredes de Frontal e Pavimentos.

3.3 Intervenções Complementares de Reabilitação e de Reforço

Devido ao aumento das cargas sísmicas resultante da ampliação do edifício e da adequação da sua resistência global à actual regulamentação, foi implementado um conjunto de medidas de reforço. Para este efeito é de destacar o seguinte:

— introdução de uma lâmina de reboco armado com 6 cm de espessura;
— pregagem dos cunhais do edifício com tirantes longos.

Todos os elementos de madeira danificados ou apodrecidos das paredes de frontal e dos pavimentos foram substituídos por novos elementos de madeira tratados em autoclave com sais metálicos tipo CCB. No caso dos elementos de madeira existentes, e que não foram removidos, procedeu-se ao seu tratamento com produto preservador.

Para compensar a eliminação de paredes de frontal originais no tardoz do edifício, introduziu-se ao nível dos pavimentos uma treliça metálica horizontal constituída por chapas corridas em "X", que estabelecem a ligação entre a fachada de tardoz e as paredes de frontal que envolvem a caixa de escada.

Promoveu-se ainda o reforço da ligação entre as paredes e os vigamentos dos pavimentos, tendo em conta os efeitos da acção sísmica. Para o efeito adoptaram-se cantoneiras metálicas fixas nas paredes por chumbadouros selados com calda de cimento. Os vigamentos estão fixos à cantoneira por aparafusamento.





Figuras 9, 10 e 11: Reforço de Pavimentos e respectivas ligações. Paredes de Frontal. Malha do reboco armado.

4 Monitorização e Instrumentação

Dada a peculiaridade da intervenção promoveu-se a implementação de um Plano de Monitorização e Instrumentação do edifício intervencionado e dos edifícios contíguos. Assim, avaliam-se as condições de segurança durante a execução da obra e recolhem-se elementos que permitem avaliar as hipóteses adoptadas no projecto. Foram instaladas marcas topográficas com o objectivo de medir deslocamentos neste edifício e nos edifícios adjacentes. Procedeu-se também à montagem de inclinómetros para controlo do comportamento na parede berlinesa durantre todo o faseamento construtivo.

A frequência das leituras é variável em função da evolução e exigência dos trabalhos desenvolvidos. No entanto, adoptou-se, em geral, uma periodicidade semanal.

5 Conclusões

A reabilitação de edifícios antigos tem sido objecto de uma crescente procura por parte de promotores do sector, que deverá ser cada vez mais promovida como alternativa à construção nova. São conhecidas as vantagens resultantes da reabilitação deste tipo edifícios quer para os promotores, quer para a sociedade em geral.

Nesta comunicação pretende-se evidenciar que é possível adequar estas construções às exigências cada vez maiores dos promotores e arquitectos.

Apesar da complexidade da execução dos trabalhos, nomeadamente com a execução da cave e a introdução de um piso elevado, concluiu-se ser possível adequar o edifício às referidas exigências, sem prejuízo do cumprimento dos critérios regulamentares actualmente em vigor, dotando o edifício de resistência suficiente para as acções verticais e horizontais.

REABILITAÇÃO DE UM EDIFÍCIO NA RUA VICTOR CORDON, N.º 23-27, LISBOA

Demolição e Reconstrução através de Técnicas Tradicionais

Pedro Ribeiro*
pedro.ribeiro@a2p.pt

João Appleton†
joao.appleton@a2p.pt

Rui Pombo‡
rui.pombo@a2p.pt

Resumo

Refere-se o presente resumo à intervenção de reabilitação realizada num edifício localizado na Rua Victor Cordon, em Lisboa. O edifício em causa possuía características marcadamente pombalinas nomeadamente ao nível das fachadas e da estrutura interior. O projecto foi elaborado prevendo a manutenção da estrutura interior dos pisos superiores, no entanto em fase de obra constatou-se que o estado de degradação era mais avançado do que se tinha assumido em projecto e foi necessário alterar o processo construtivo, optando-se pela demolição integral e reconstrução da estrutura seguindo as técnicas de construção original piso a piso. Em primeiro lugar foram construídas as paredes de alvenaria mista, com base nas "Cruzes de Santo André" de madeira preenchidas com alvenaria, seguindo-se a montagem do pavimento apoiado nas paredes de alvenaria mista do piso inferior e em cantoneiras metálicas ao nível dos pisos nas paredes de alvenaria de fachada. Os elementos de madeira retirados e que se encontravam em bom estado foram reaplicados. A estrutura de abóbadas e arcos existente ao nível da sobreloja foi integralmente mantida. Com este tipo de solução que no essencial respeita o edificado, mantendo as condições de carregamento e de travamento global, foi possível desenvolver uma estrutura tecnicamente equilibrada, economicamente interessante e patrimonialmente valiosa [1].

Palavras-chave: Reabilitação, Edifício pombalino, Manutenção das fachadas, Processo construtivo, Estruturas de madeira.

* Engenheiro Civil, A2P Consult – Estudos e Projectos, Lda.
† Engenheiro Civil, A2P Consult – Estudos e Projectos, Lda.
‡ Engenheiro Civil, A2P Consult – Estudos e Projectos, Lda.

1 Introdução

O edifício que foi alvo de intervenção de reabilitação situa-se na Rua Victor Cordon, nº 23 a 27, torneando a Calçada do Ferragial e Rua do Ferragial, nº 2 – 4. O edifício tem feições tipicamente pombalinas, nomeadamente, no desenho das suas fachadas, no ritmo das janelas e, também na sua estrutura, marcada na periferia pelas paredes de fachada e de empena, de alvenaria de pedra [1]; no interior é de notar, ainda, a existência de arcos e abóbadas de aresta em alvenaria, sobre os quais surgem, na maioria dos casos, as paredes mestras de frontal tecido que recebem cargas dos pisos e que são essenciais no travamento estrutural.



Figura 1:Fachada principal (Esq.); Arcos e abóbadas de alvenaria de pedra (Dta.).

O edifício tem uma forma em planta aproximadamente rectangular, com dimensões de cerca de 18,0 m por 15,4 m, sendo constituído por um piso semi-enterrado, o térreo propriamente dito, a sobreloja, quatro pisos elevados e cobertura. Pretendia-se com esta intervenção adaptar o edifício existente para desempenhar as funções de habitação e de comércio, esta última reservada para o piso semi-enterrado, que é acessível a Sul pela Rua do Ferragial.

2 Estado de Conservação

Desde a fase do projecto que se pretendia manter no geral a geometria do edifício, reabilitando-o de forma a aproveitar, no que fosse possível, as estruturas existentes (em particular, as paredes de frontal e os vigamentos de madeira). A demolição das estruturas antigas deveria ser limitada ao que fosse estritamente necessário, quer por motivos da sua degradação, quer por motivos arquitectónicos, visando a alteração de alguns espaços no interior do edifício. Apenas a cobertura seria reconstruída com adaptação da geometria existente a uma nova solução, de modo a que essa assumisse uma forma mais adequada à imagem do edifício.

Em fase de projecto, assinalaram-se duas zonas críticas que se supunha serem as que mais afectadas por um incêndio e pela água da chuva: a zona da caixa de escada que se apresentava em grande parte inutilizada, nos pisos superiores e a

zona das cozinhas, junto à fachada voltada para a Rua do Ferragial, muito afectada pela acção da água e que exibia pavimentos e paredes totalmente destruídas por apodrecimento dos elementos de madeira, situação agravada pelo estado de colapso parcial das estruturas da cobertura existente. Os pavimentos de madeira no tardoz do edifício, a partir do piso 2 até à cobertura, encontravam-se em tal estado de degradação que se afigurava muito difícil a sua recuperação e manutenção.

Em fase de obra, verificou-se que a degradação dos elementos estruturais se estendia a todo o edifício, detectando-se perdas de secção significativas dos elementos estruturais de madeira, o que implicou o escoramento dos pavimentos de forma contínua desde a esteira até ao piso 0, ou seja, até ao nível superior das abóbadas. Em relação à já referida caixa de escadas verificou-se que a acção do fogo teve implicações até nos elementos de pedra, existentes ao nível das vergas e ombreiras dos vãos, apresentando destacamentos de grande parte das suas secções, por calcinação. O mesmo se verificou nos alinhamentos verticais de paredes de frontal e de tabique, nos quais os elementos de madeira também se encontravam afectados pelo fogo e pela água.



Figura 2: Degradação da estrutura existente por acção do fogo (Esq.) e da água (Dta.).

3 Solução Estrutural e Processo Construtivo

Devido ao estado de conservação das estruturas existentes, alterou-se o processo construtivo inicialmente proposto em fase de projecto, pois tinha deixado de ser possível manter a estrutura interior em segurança durante a construção dos novos alinhamentos estruturais.

Os trabalhos foram iniciados pela montagem de uma cobertura provisória e construção de um lintel de coroamento das paredes de alvenaria, seguindo-se o escoramento da estrutura interior de modo a permitir o acesso e circulação nos vários pisos. Antes de se proceder ao desmonte de toda a estrutura interior foi realizado o reforço das paredes periféricas e do extradorso das abóbadas com uma lâmina de betão projectado. Nesta fase, foi decidido que seria aconselhável o desmonte integral da estrutura interior de forma progressiva, iniciando-se a partir dos pisos superiores, seleccionando os elementos a reaproveitar.

Uma vez estando todo o interior do edifício demolido, protegido da acção da chuva pela cobertura provisória e as paredes de alvenaria das fachadas e da empena

consolidadas com a lâmina de betão projectado, complementada por escoras de aço que travavam entre si os primeiros nembos de alvenaria que surgem imediatamente a seguir aos cunhais, era possível começar a construção da nova estrutura de forma segura e coordenada. De facto, foi uma vantagem ser possível pensar na montagem da estrutura desde a sua raiz (piso 0), facilitando a organização e optimização das tarefas a realizar.

A lógica da intervenção deixou de ser a manutenção sem desmonte, no que fosse possível, das estruturas interiores existentes, para dar lugar a uma lógica de reconstrução aproveitando ao máximo os elementos desmontados que se encontravam em estado de conservação compatível com o seu reaproveitamento.

No que concerne às soluções aplicadas, adoptaram-se estruturas leves, que não alterassem significativamente o peso das soluções existentes, tentando reproduzir as estruturas originais típicas de um edifício pombalino, em que os pavimentos de madeira eram suportados por frechais que faziam parte integrante de paredes de frontal tecido, preenchido a alvenaria. As paredes de frontal seriam recolocadas nos alinhamentos em que já existiam, corrigindo-os em algumas situações por forma a alinhá-los com os arcos de pedra do embasamento existente ao nível do piso 0, uma situação típica das estruturas da época pombalina. As paredes de frontal seriam reconstruídas de forma tradicional, com o uso de carpintaria para a realização dos desbastes, cortes, entalhes e pregagens necessárias para montar os vários elementos que formam estas paredes, com os módulos travados pelas características Cruzes de Santo André, elementos marcadamente pombalinos e de elevada importância estrutural, particularmente para as acções dos sismos.

Em relação aos pavimentos, optou-se por duas soluções distintas consoante a utilização do espaço a que se destinam. Nas zonas "secas", ou seja, corredores, quartos e salas procurou-se sempre que possível adoptar pavimentos em madeira formados por vigamentos e soalho. Estas vigas foram previstas em madeira maciça de Pinho da Classe de Qualidade E [2] e são formadas por secções transversais rectangulares com 0,080×0,160 m, afastadas de 0,40 m até vãos de 3,75 m. A partir dos 3,75 m até vãos de 4,30 m as vigas são afastadas de 0,20 m. As vigas são também afastadas de 0,20 m nos casos em que têm de suportar paredes divisórias novas, para vãos acima dos 3,00 m. O maior vão a vencer é de 4,30 m. Nas zonas "húmidas", ou seja, cozinhas e casas de banho, optou-se por uma outra solução que oferece maiores garantias de resistência à acção da água no pavimento. Nestas situações adoptaram-se lajes mistas nervuradas aço-betão com cofragem em chapa colaborante com 0,75 mm de espessura. A altura máxima destas lajes é de 0,10 m, apoiadas em perfis metálicos. Só se adoptaram perfis metálicos intermédios para vãos superiores a 2,40 m. As ligações das lajes mistas aço-betão aos perfis que as suportam foram realizadas por intermédios de conectores soldados aos perfis. Estas lajes permitem também uma distribuição uniforme das cargas de paredes divisórias, continuando a constituir uma solução leve (apesar de mais pesada que a solução com vigamentos de madeira), de acordo com o que se pretendia.

Seguindo as orientações dos pavimentos existentes, os novos vigamentos de madeira foram colocados segundo a menor dimensão do edifício, sendo ortogonais à fachada da Rua Victor Cordon. Esta ortogonalidade, desejável por motivos de travamento das paredes de fachada e por razões de facilidade construtiva, não é

conseguida na fachada da Rua do Ferragial. No entanto, o travamento das paredes de alvenaria foi complementado com cantoneiras metálicas, contínuas ao nível dos pavimentos, chumbadas a estas paredes. Parte das paredes de frontal, além de receberem as cargas dos pavimentos e distribuí-las até à sua base, travam as paredes de alvenaria existentes. Nos alinhamentos principais e na ausência de paredes de frontal, o travamento das paredes de alvenaria é, ainda, complementado com perfis metálicos. As vigas de madeira dos pavimentos foram colocadas de nível com as vigas metálicas. A realização de entalhes nas vigas de madeira permitiu o encaixe das mesmas entre os banzos dos perfis. As ligações entre vigas metálicas foram realizadas através de cordões de soldadura contínuos. As vigas de madeira foram travadas com tarugos que preenchem o espaço entre os banzos dos perfis. Estes tarugos foram colocados também nos vãos, garantindo travamentos intermédios dos vigamentos de madeira. O espaçamento entre os tarugos é no máximo de 2,00 m. As ligações das vigas de madeira às paredes de alvenaria foram realizadas apoiando os vigamentos numa das abas das cantoneiras e fixando-os com parafusos a "goussets", que além de impedirem deslocamentos das vigas de madeira, rigidificam as cantoneiras, unindo as duas abas.

As paredes de frontal construídas são formadas por módulos de cerca de 0,900×0,900 m. As secções transversais adoptadas para os elementos verticais e horizontais foram de 0,080×0,160 m. Nas diagonais adoptaram-se elementos quadrados com 0,080×0,080 m. As ligações entre os diversos elementos das paredes de frontal foram realizadas através de entalhes e pregagens. O entalhe mais adoptado foi o de meia madeira, pela sua simplicidade e consequente rapidez de execução.



Figura 3:Estrutura interior nova (Esq.); Preenchimento das paredes de frontal (Dta.).

Adoptaram-se dois tipos distintos de paredes de frontal: as tecidas com alvenaria e as tecidas a lã de rocha (que são mais leves). As primeiras adoptaram-se nos elementos estruturais principais, quando se pretendia que a parede suportasse cargas dos pavimentos. Note-se que a alvenaria entre os elementos de madeira das paredes de frontal permite o travamento dos mesmos. A outra solução é preferida quando a parede apenas trava outras paredes de frontal e não suporta cargas para além das provenientes do seu peso próprio. Note-se que não exercendo uma função de suporte dos pavimentos pretende-se que a solução adoptada seja o mais leve

possível. Para o preenchimento com alvenaria das paredes de frontal foram reaproveitadas as telhas da cobertura demolida.

Nas situações em que não se verificava a continuidade das paredes de frontal até ao piso 0, colocaram-se perfis metálicos ao nível dos pisos por forma a garantir a descarga das forças transmitidas por estas paredes, piso a piso, nas outras que têm continuidade até ao piso 0.

Com o objectivo de munir o edifício de resistência sísmica, as paredes de frontal foram mecanicamente ligadas às paredes de alvenaria existentes por intermédio de chapas aparafusadas aos prumos e chumbadas às paredes de alvenaria.

Ao nível do piso 0 as abóbadas foram na generalidade reforçadas através de um reboco armado com 6 cm e os arcos através de uma lâmina de betão armado com 0,12 m de espessura. A espessura de 0,12 m foi igualmente adoptada em faixas de 1,00 m sobre as abóbadas, para assentamento de novas paredes de frontal. A necessidade destes reforços prende-se com as cargas transmitidas pelos novos alinhamentos de paredes de frontal às abóbadas e arcos existentes.

No topo das paredes de alvenaria das fachadas foi realizado um lintel de betão armado que distribui eficazmente as cargas provenientes da cobertura para as paredes de alvenaria das fachadas. A ligação entre este lintel e as paredes de alvenaria foi realizada por intermédio de chumbadouros.

Existe apenas um núcleo de elevadores que serve todos os pisos de habitação. As paredes à volta deste núcleo são paredes de frontal tecidas a alvenaria de tijolo, o que oferece a resistência necessária para as solicitações do elevador.

4 Conclusões

Actualmente o edifício já se encontra ocupado e desempenha em pleno, com eficácia, as funções para as quais foi reabilitado: habitação e comércio. Constatou-se com a realização desta obra que a adopção de soluções tradicionais para a reabilitação de edifícios existentes pombalinos se afigura como, provavelmente, a melhor alternativa, quer a nível de economia, de organização da obra (sem ser necessário muito espaço para estaleiro, nem gruas ou contentores), de bom funcionamento estrutural, compatível com as paredes de alvenaria existentes nas fachadas (necessariamente a manter) e com as acções sísmicas, como também permite viajar no tempo e reproduzir as estruturas originais destes edifícios. O uso de soluções essencialmente de madeira e aço em detrimento do betão armado, para além de constituírem soluções muito mais secas e fáceis de executar e montar, é algo ecológica e patrimonialmente valioso, factores cada vez mais importantes na sociedade moderna.

5 Bibliografia

[1] P430 – Edifício na Rua Victor Cordon, nº 23 a 27, Lisboa, A2P, 2006;

[2] EN 338:1994 – Sctructural Timber – Strengh Classes.

A MODELAÇÃO NA AVALIAÇÃO E REFORÇO DE ESTRUTURAS

O Caso de Estudo de Um Edifício de 6 Pisos

Alexandre A. Costa*
aacosta@fe.up.pt

Aníbal Costa†
agc@ua.pt

Vítor Abrantes‡
abrantes@fe.up.pt

Resumo

O presente trabalho teve como objectivo a avaliação e reforço estrutural de um edifício de 6 pisos na cidade de Matosinhos. O edifício em causa teve uma rotura súbita por esmagamento do pilar principal ao nível do R/C, provocado por assentamentos diferenciais das fundações ao longo do tempo. Para tal, procedeu-se a algumas inspecções visuais que, aliadas a uma modelação numérica de todos os elementos de construção estruturais e não estruturais, calibrada adequadamente, permitiram a detecção e comprovação das causas originárias de tais danos. Por fim, apresenta-se a solução de reforço sugerida e possível de realizar, apesar das deformações verificadas no edifício.

Palavras-chave: Assentamento, Fundações, Reforço estrutural, Modelação numérica.

1 Introdução

O presente trabalho tem como objectivo a apresentação detalhada da análise numérica efectuada e posterior solução de reforço proposta para um edifício da cidade de Matosinhos. A análise mencionada foi dividida em três diferentes fases: inspecção visual e detecção de danos; identificação das causas originárias de tais danos; justificação das causas com recurso à modelação numérica da estrutura do edifício. De realçar que o trabalho apresentado relata um edifí-

* Aluno de doutoramento, Departamento de Engenharia Civil, FEUP.
† Professor Catedrático, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro.
‡ Professor Catedrático, Departamento de Engenharia Civil, FEUP.

cio de 6 pisos (Figura 1 a)) existente na cidade de Matosinhos, construído nos anos 50, sendo por isso um edifício que excedeu o seu tempo de vida útil, estando alguns dos defeitos de construção/terreno já acomodados pela estrutura. Este edifício teve uma rotura brusca do pilar P2 (Figura 1 b)) ao nível do rés-do-chão no decorrente ano de 2008, levando à expulsão da camada de recobrimento na zona de emenda de varões (Figura 1 c)).



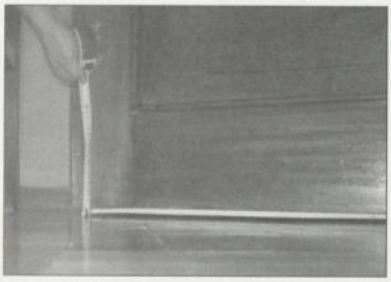
Figura 1: Edifício em estudo: a) Vista geral; b) Planta do R/C; c) Pilar danificado

A estrutura é constituída por uma estrutura porticada em betão armado, contendo paredes de alvenaria de pedra de 0,3 metros de espessura na caixa de escadas a nível do R/C e contínua até ao 4º piso nas empenas, com a distribuição apresentada na Figura 1 b). A partir do 4º piso e nos pisos superiores, toda a estrutura é porticada em betão armado. As lajes são constituídas por solução aligeirada e a cobertura do edifício é realizada por um terraço acessível. De realçar que a parte posterior do edifício representada no esquema da planta estrutural da Figura 1 b) (y>13,7 m) apenas existe ao nível do R/C. Nos pisos superiores, a estrutura encontra-se no alinhamento do pilar P2, com uma varanda saliente cerca de 1,20m. Ao nível da envolvente é possível visualizar claramente um assentamento significativo do passeio acentuado no lado direito do edifício.

2 Inspecção e diagnóstico

A inspecção realizada ao edifício permitiu elucidar as causas que levaram à rotura do pilar ao nível do R/C. De facto, o assentamento da parte direita do edifício terá sido a causa mais provável pois no interior dos apartamentos situados a norte da caixa de escadas, era visível o desnível e a inclinação dos pisos (Figura 2 a) onde se observou um desnível de 1 cm entre a porta na caixa de escadas e o piso. Além disso, foi possível constatar que a presença da caixa de escadas impediu uma maior deformação desta zona, levando a um agravamento do assentamento da empena direita. Por fim, foi feito um levantamento

do desnível observado em diversos pontos da cobertura, que se apresenta na Figura 2 b).

(a) 

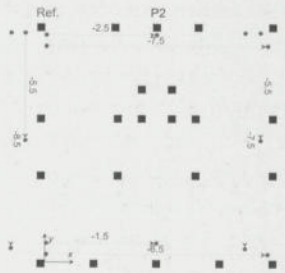
(b) 

Figura 2: Desnível observado: a) zona da caixa de escadas; b) levantamento

No entanto, não foram observados quaisquer danos relevantes nas paredes, tectos ou pisos do edifício, o que poderia evidenciar assentamentos recentes das fundações. Apenas foram detectadas pequenas fissuras horizontais nas paredes interiores das habitações inferiores na zona da empena direita. Sendo assim, e conforme relatado também pelos moradores, os assentamentos ocorreram muito lentamente e espaçados no tempo, permitindo assim que os danos causados fossem reparados nas tarefas de manutenção do edifício. Estes assentamentos ao longo do tempo foram sobrecarregando o pilar P2 devido à redistribuição de esforços para acomodar tais assentamentos, até ser atingido o valor de tensões que levou à expulsão da camada de recobrimento deste pilar. Como o pilar continha uma armadura transversal forte e bem armada, esta terá impedido a rotura total por esmagamento do pilar conferindo um acréscimo de resistência do betão confinado pela armadura transversal, levando à expulsão do betão de recobrimento.

3 Modelo numérico

3.1 Desenvolvimento e calibração

O desenvolvimento do modelo numérico iniciou-se pela correcta implantação de todos os elementos estruturais horizontais e verticais, utilizando o programa SAP 2000 [1]. Para tal, foram utilizados elementos de casca na reprodução das paredes de alvenaria de granito e lajes (representados através de uma espessura equivalente), sendo os pilares e vigas representados por elementos de barra. Nesta modelação foram usadas as características geométricas constantes do projecto e alguma recolhida em obra e as características mecânicas dos diversos elementos estruturais foram as constantes na literatura e ajustadas aos valores encontrados nos diversos ensaios realizados a material semelhante

(nomeadamente a alvenaria de granito e o tijolo de enchimento). O modelo tridimensional desenvolvido englobou todos os elementos estruturais resistentes, nomeadamente paredes resistentes (alvenaria de granito), paredes da caixa de escadas e paredes da caixa de elevadores, pilares, vigas e lajes aligeiradas de betão armado, (Betão C30/35 – função de ensaios realizados no local com esclerómetro). As ligações ao exterior foram modeladas com apoios duplos. O primeiro modelo do edifício (modelo normalmente desenvolvido no dimensionamento deste tipo de edifícios onde apenas são introduzidos os elementos estruturais) conduziu a valores para as duas primeiras frequências de 1,62 Hz e 3,82 Hz (transversal e longitudinal, respectivamente) e ensaios efectuados no local revelaram que as frequências próprias do edifício eram de 2,56 Hz e 3,91 Hz. Este desfasamento levou ao melhoramento do modelo tendo-se verificado a seguinte evolução nos valores das frequências apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Variação da frequência em função do refinamento do modelo

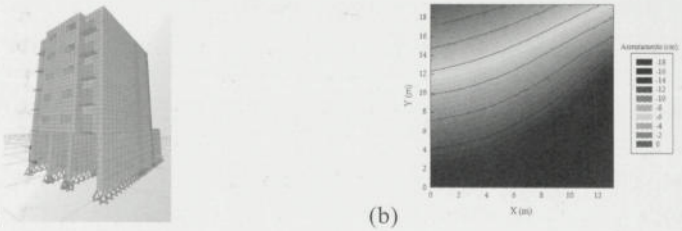
Frequência	Transv. (Hz)	Long. (Hz)	Rot. (Hz)
Ligações - encastramento	1,67	3,95	-
Introdução das escadas	1,8	3,98	4,35
Paredes divisórias dos quartos (transversal)	1,96	3,96	4,33
Parede divisória da despensa (transversal)	2,04	3,94	4,32
Parede divisória da sala (transversal)	2,17	3,92	4,33
Fecho das paredes da caixa de elevador (introdução das zonas superiores da porta do elevador)	2,18	3,91	4,34
Dois bocados de parede da fachada, (1,50m de cada lado) que ligavam às fachadas laterais	2,20	3,94	4,49
Introdução da parede da cozinha e da parede interior que divide a parede da sala	2,21	3,94	4,59
Mudança do módulo de elasticidade da laje de 30 para 35 GPa	2,25	3,95	4,6
Refinamento da malha, divisão por 2	2,22	3,94	4,57
Mudança da classe do betão – B25	2,23	3,91	4,57
Mudança do módulo de elasticidade da alvenaria de enchimento – de 1,0 GPa para 3,0 GPa	2,63	4,44	5,32
Mudança do módulo de elasticidade da alvenaria de enchimento – de 3,0 GPa para 1,50 GPa	2,38	4,1	4,84

3.2 Definição de acções e forma de aplicação

Para a definição de acções a aplicar à estrutura, além dos valores de cargas usuais no dimensionamento reproduzindo os elementos estruturais, revestimentos e acabamentos, foi introduzida uma sobrecarga de forma a simular as cargas adicionais resultantes dos objectos presentes no interior das habitações.

No entanto, o cerne do problema consistia na correcta aplicação dos assentamentos de fundações do edifício, de forma a reproduzir os efeitos causadores

dos danos mencionados no ponto 1 e 2. Partindo dos valores de assentamentos pontuais obtidos na inspecção realizada e presentes na Figura 2 b), foi assumida uma distribuição quadrática entre os pontos lidos de forma a ter um perfil mais homogéneo evitando-se assim uma concentração de tensões não realísticas em determinados pontos da estrutura, originando o perfil de assentamentos apresentado na Figura 3 b).

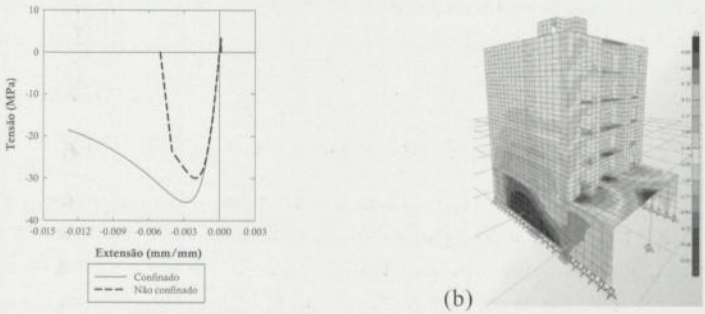


(a) (b)

Figura 3: Características do modelo: a) aspecto final; b) perfil de assentamentos.

3.3 Resultados obtidos

Os resultados obtidos com uma análise linear elástica permitiram inferir que os assentamentos provocaram uma carga 2x superior à carga de dimensionamento do pilar P2, o que terá levado à rotura deste. Além disso, foi introduzido um modelo não linear no pilar P2 utilizando o modelo de Mander *et al.* [2] muito usual neste tipo de cálculos e presente no programa SAP2000 [1], tendo em conta as características da secção e a armadura do pilar ($8\Phi32$, $\Phi8//0.10$), permitindo aferir a redistribuição de cargas na estrutura. No entanto, as alterações às distribuições de cargas foram pouco significativas. A Figura 4 apresenta a lei de comportamento não linear utilizada, assim como a distribuição de tensões máximas em todo o edifício. De realçar que a distribuição de tensões evidencia concentração na empena afectada, assim como nas paredes da fachada posterior e na zona do pilar P2, conforme observado também no local.



(a) (b)

Figura 4: Análise numérica: a) lei de comportamento não linear da secção do pilar P2; b) distribuição das tensões máximas (vista traseira).

4 Solução de reforço proposta

A técnica de reforço proposta para este caso foi elaborada baseada na observação dos danos no edifício e complementada com o modelo numérico. Assim, a solução proposta consistiu no reforço das fundações (Figura 5), com a construção de duas vigas contínuas, de cada lado das paredes de alvenaria, que serão ligadas entre si por varões metálicos. Estas vigas serão apoiadas em vigas transversais a estas, que por sua vez assentarão em estacas que irão apoiar em terreno firme. As estacas serão dimensionadas tendo em conta os valores das reacções obtidos pelo modelo numérico nas fundações.

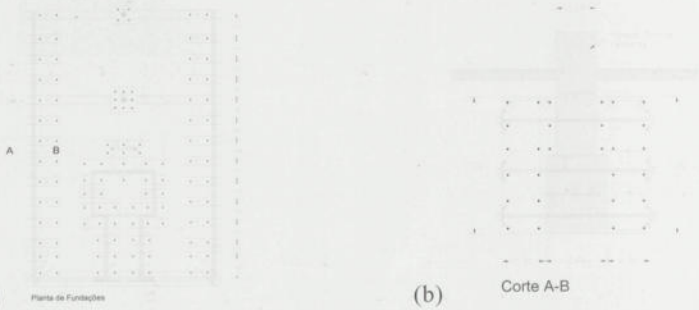


Figura 5: Esquema de reforço estrutural proposto: a) planta; b) corte.

5 Conclusões

O trabalho apresentado demonstrou a potencialidade dos modelos numéricos na análise e reforço de estruturas. Tendo por base a inspecção realizada previamente com análise detalhada dos danos e causas prováveis, foi possível através do modelo numérico desenvolvido justificar a premissa anterior, possibilitando desta forma o dimensionamento correcto de uma solução de reforço. Além disso, foi também demonstrado que, para uma correcta modelação da estrutura é fundamental a introdução dos elementos não estruturais no modelo, já que só assim se conseguiu ajustar as frequências experimentais às numéricas. Esta calibração é indispensável em qualquer modelação estrutural.

6 Bibliografia

[1] CSI, Computers and Structures Inc. *SAP 2000 - Integrated finite element analysis and design of structures*. Advanced 11.0.8. Berkeley, California: Computers and Structures, Inc., 2007.

[2] Mander, J. B., Priestley, M. J. N., Park, R. Theoretical stress-strain model for confined concrete. *Journal of Structural Engineering* 114:8 (1988). pp. 1804-1826.

EVALUACIÓN DEL ESTADO FÍSICO Y ESTRUCTURAL DEL EDIFICIO MACIEL DE LA CIUDAD DE TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS, MÉXICO

José Angel Ortiz Lozano[*]
jose.ortiz.lozano@gmail.com

Francisco Alberto Alonso Farrera[†]
alfa@unach.mx

José Ernesto Castellanos Castellanos[‡]
jecc@unach.mx

Mario Eduardo Zermeño de León[§]
mezerme@correo.uaa.mx

Alejandra Gómez Mendoza[**]
alejandragomez1@live.com.mx

Resumen

Se presenta la aplicación de una metodología para la inspección y evaluación de estructuras que permite determinar el estado de condición de una construcción. En este caso se evaluó el edificio Maciel, en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. Dicho edificio se ha visto sometido a diferentes acciones derivadas del cambio de situaciones de carga, fenómenos físicos (viento, sismo), falta de mantenimiento y asentamientos diferenciales, provocando daños y lesiones estructurales. Por lo cual, se llevó a cabo la evaluación del estado de condición físico y estructural del edificio, con la finalidad de realizar un dictamen de su situación actual. El estado de condición del edificio se calificó como de "Regular". Asimismo se concluyó en base a la revisión estructural realizada, la insuficiencia estructural del edificio en relación a los códigos estructurales actuales; lo anterior, justifica que se lleven a cabo intervenciones de rehabilitación y/o refuerzo estructural del edificio.

Palabras clave: Inspección, Evaluación, Análisis Estructural, Estado de Condición y Rehabilitación.

[*] Profesor del Departamento Construcción-Estructuras de la Universidad Autónoma de Aguascalientes.

[†] Profesor de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chiapas.

[‡] Profesor de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chiapas.

[§] Profesor del Departamento Construcción-Estructuras de la Universidad Autónoma de Aguascalientes.

[**] Estudiante de la Maestría en Ingeniería, Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chiapas.

1 Introducción

El edificio Maciel de la Ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, es un emblema de la Universidad Autónoma de Chiapas, debido a que durante muchos años en él se ha desarrollado parte de la vida activa de esa institución. Desde su construcción a principios de los años 70's, sus nueve niveles han servido como aulas de clases, oficinas administrativas, rectorales, sala de exposiciones, librería, etc.

Desde su construcción hasta la fecha, el edificio se ha visto sometido a diferentes acciones derivadas del cambio de uso, cambio de situaciones de carga, fenómenos físicos (viento, sismo), falta de mantenimiento y asentamientos diferenciales. Asimismo, dichas acciones han sobrepasado los límites establecidos en los reglamentos de construcción contemporáneos en las fechas de diseño y construcción de dicho edificio, provocando daños y lesiones estructurales en el edificio. En este sentido, se llevó a cabo la evaluación del estado de condición físico y estructural del edificio, con la finalidad de realizar un dictamen de su situación actual.

En este artículo se muestra la aplicación al edificio Maciel, de una metodología desarrollada para la inspección y evaluación estandarizada que permite determinar el estado de condición de una estructura.

2 Características del Edificio

El edificio Maciel consta de 9 niveles y tiene 5 crujías en un sentido y 4 en el otro, de dimensiones variables, teniendo en total 21.18 m en un lado y 18.60 m en el otro.

2.1 Características geométricas de los elementos estructurales

Todos los elementos estructurales del edificio Maciel son de hormigón armado, y tienen las siguientes características geométricas:

a) Columnas circulares: sección transversal de diámetro 0.60 m en los primeros tres niveles y de 0.45 m en los niveles superiores; estas columnas están al centro del edificio;
b) Columnas cuadradas: sección transversal de 0.45 m de lado, estas columnas están en las fachadas sur y oeste,
c) Columnas rectangulares: sección transversal de 0.75 m x 0.45 m de lado, estas columnas están en las fachadas norte y este,
d) Vigas: sección transversal de 0.30 m x 0.50 m en todos los niveles,
e) Forjados de hormigón armado (losas macizas de 15 cm de canto).

2.2 Características de los materiales estructurales y cuantías de los elementos estructurales

Para determinar la resistencia a compresión del hormigón y las cuantías mecánicas de los elementos estructurales, se procedió a realizar ensayos NDT (no destructivos), específicamente mediante la utilización de un esclerómetro y de una sonda magnética, respectivamente.

Los valores estimados para la resistencia a compresión del hormigón mediante el esclerómetro, tanto en columnas como en vigas van desde los 21 hasta los 50 MPa.

Los valores estimados en cuanto a cuantías mecánicas de los elementos estructurales del edificio mediante la sonda magnética, están en concordancia con los códigos estructurales y reglamentos de construcción locales correspondientes a la época en la cual se construyó este edificio.

3 Modelo de evaluación para determinar el Estado de Condición (EC)

Se propone un modelo para la evaluación del estado de condición que tiene como base principal el uso de dos índices estructurales que se aplican a los elementos cuyo deterioro puede afectar de manera directa a la estructura al momento de evaluar su estado de condición. Los elementos que pueden incidir en el cambio de un estado de condición a otro en este modelo propuesto son: a) Losas, b) Vigas, c) Otros elementos de superestructura, d) Columnas, e) Cimentación y f) Otros elementos de subestructura.

Los índices estructurales mencionados anteriormente con los que se evaluará el estado de condición de la estructura y que se determinan para cada elemento estructural se refieren a:

1. El porcentaje de daño en las observaciones de deterioro presentes en el elemento en el momento de la inspección, evaluadas con respecto a la estabilidad de la estructura.
2. El factor de importancia del daño que tiene el elemento estructural con respecto a los otros elementos estructurales en que se divide el edificio.

El modelo propuesto para la evaluación del estado de condición se determina por medio del índice de estado de condición (IEC), el cual se calcula usando la siguiente expresión [1]:

$$IEC = 5\left(P_T F_T + P_v F_v + P_{SE} F_{SE} + P_E F_E + P_P F_P + P_T F_T\right)$$

donde:

P_T - Porcentaje de daño en losas

P_V - Porcentaje de daño en vigas

P_{SP} - Porcentaje de daño de otros elementos de superestructura
P_E - Porcentaje de daño en columnas
P_P - Porcentaje de daño en cimentación
P_{SB} - Porcentaje de daño de otros elementos de subestructura
F_T - Factor de importancia del daño en losas
F_V - Factor de importancia del daño en vigas
F_{SP} - Factor de importancia del daño en otros elementos de superestructura
F_E - Factor de importancia del daño en columnas
F_P - Factor de importancia del daño en cimentación
F_{SB} - Factor de importancia del daño en otros elementos de subestructura

En la expresión anterior se emplea el valor de 5, ya que se proponen cinco estados de condición. El porcentaje de daño es un valor decimal que va de 0 a 1 y éste es propuesto por el inspector después de analizar las observaciones que presenta el elemento estructural y lo determina en relación a que tanto, ese deterioro puede afectar a la estabilidad y seguridad del elemento con respecto a la estructura en general.

El factor de importancia del daño se calcula teniendo en cuenta la importancia del elemento estructural con respecto a la estructura global del edificio, por lo que se proponen ciertos valores para este índice. Estos índices se determinaron mediante un análisis estadístico del deterioro que puede presentarse en cada elemento estructural, teniendo en cuenta el factor de daño del mismo que puede llevar al edificio al colapso, y en la revisión y el análisis del estado del arte [2]. Asimismo, cabe mencionar que estos índices de factor de importancia están en fase de "calibración", mediante análisis estadísticos subsecuentes de fallas estructurales en las inspecciones de edificios que se están realizando actualmente.

Proponiendo para cada elemento estructural una probabilidad de que a cierta cantidad de daño este elemento represente un peligro de falla inminente para la estructura del edificio, se determinaron los siguientes factores de importancia para cada elemento estructural (Tabla 1).

Tabla 1: Factores de importancia para cada elemento estructural.

Elemento	Factor de importancia
Losas	1.88
Vigas	2.14
Otros elementos de superestructura	1.88
Columnas	3.75
Cimentación	2.14
Otros elementos de subestructura	1.88

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores y con los resultados que se obtienen de la expresión para calcular el índice de estado de condición (IEC), se determinaron los siguientes estados de condición (EC) para cada uno de los edificios que se vayan a analizar. Estos EC se presentan en la Tabla 2:

Tabla 2: Estados de condición para cada IEC.

IEC	Estado de Condición	Descripción
0 – 3.75	1 Bueno	El edificio no presenta ningún daño.
3.75 – 7.50	2 Aceptable	Presenta deficiencias menores con evolución lenta y únicamente requiere de trabajos rutinarios de mantenimiento.
7.50 – 11.25	3 Regular	La estructura presenta una o varias deficiencias importantes, que de no atenderse pueden evolucionar hacia deficiencias graves; estos problemas requieren atención a mediano plazo.
11.25 – 15.00	4 Malo	Presenta una o más deficiencias graves que impliquen un peligro inminente para la seguridad pública de los usuarios; estos problemas requieren de atención inmediata.
> 15.00	5 Dañado	Presenta daños que pueden provocar el colapso a corto plazo: requiere de trabajos de rehabilitación urgentes.

4 Evaluación del Estado de Condición (EC) del edificio Maciel

Los resultados obtenidos de la evaluación y el índice de estado de condición (IEC) obtenidos para la estructura del edificio Maciel se muestran a continuación en la Tabla 3.

Tabla 3: Resultados obtenidos para el edificio Maciel.

Elemento	Porcentaje de daño	Factor de importancia	Índice
Losas	0.20	1.88	0.38
Vigas	0.20	2.14	0.43
Otros elementos superestructura	0.25	1.88	0.47
Columnas	0.15	3.75	0.56
Cimentación	0.10	2.14	0.21
Otros elementos subestructura	0.10	1.88	0.19
		Sumatoria	**2.24**
		IEC	**11.20**

La estructura está en un estado de condición "Regular", es decir, el edificio presenta una o varias deficiencias importantes, que de no atenderse pueden

evolucionar hacia deficiencias graves; estos problemas requieren atención a mediano plazo (ver tabla 2).

5 Revisión estructural del edificio Maciel

Una vez conocidas las propiedades geométricas de los elementos estructurales y las propiedades mecánicas de los materiales estructurales (resistencia a la compresión del hormigón y cuantías mecánicas) en base a los ensayos NDT, se procedió a revisar el comportamiento estructural del edificio mediante una modelización ante distintas situaciones de cargas (gravitacionales, dinámicas, desplazamientos). Los resultados obtenidos de esta revisión estructural señalan que, actualmente la estructura del edificio Maciel "no cumple" con los requerimientos mínimos de seguridad estructural que especifican los códigos y reglamentos de construcción actuales, por lo que se recomienda llevar a cabo acciones de rehabilitación y/o refuerzo estructural.

6 Conclusiones

El estado de condición del edificio Maciel, obtenido en base a la metodología de evaluación presentada, podría catalogarse como de "Regular". Asimismo, la revisión estructural realizada, en base a las propiedades geométricas y mecánicas de los elementos estructurales, advierte de la insuficiencia estructural del edificio, en relación a los códigos estructurales actuales; lo anterior, justifica que se lleven a cabo intervenciones de rehabilitación y/o refuerzo estructural del edificio.

7 Agradecimientos

Se agradece el apoyo de la Universidad Autónoma de Aguascalientes (UAA) y de la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH). Asimismo, del Programa de Mejoramiento de Profesorado (PROMEP) de la Secretaría de Educación Pública (SEP) de México, mediante los Proyectos de Investigación PROMEP/103.5/08/1265 y PROMEP/103.5/07/2338).

8 Bibliografía

[1] Alonso, F.A. *Optimización Conjunta de las Políticas de Mantenimiento y Rehabilitación en Puentes mediante Algoritmos Genéticos. Aplicación al Sistema de Gestión de Puentes del Estado de Chiapas*, Disertación de Doctorado, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, 2006.

[2] Muñoz, M. *Diagnosis y causas en patología de la edificación*, Sevilla, España, 1994.



SESSÃO XXI

TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO

EVALUACIÓN PREVENTIVA DE LA SEGURIDAD DE LOS EDIFICIOS DE LA MANZANA ESCODINES DE MANRESA (BARCELONA)

César Díaz[*]
Cesar.diaz@upc.edu

Antoni Griera[†]
Antoni.griera@coac.net

Còssima Cornadó[‡]
Cossima.cornado@upc.edu

Pere Santamaría[§]
Pere.s@coac.net

Resumen

La construcción de un gran edificio de nueva planta con tres plantas de sótano en la proximidad de un grupo de edificios antiguos entre medianeras ubicados en una manzana del casco antiguo de Manresa, aconsejó llevar a cabo un exhaustivo estudio previo sobre el estado de dichos edificios antes de emprender las obras. Las actuaciones incluyeron un levantamiento gráfico pormenorizado de las técnicas constructivas y de las lesiones que presentaban cada uno de ellos, el seguimiento de las lesiones mediante testigos y comparadores, la ejecución de pruebas presiométricas en los muros de piedra, tierra y ladrillo de los viejos edificios, la extracción de probetas testimonio y de ensayos de perforación en los forjados de madera, y la medición de la incidencia de los niveles vibratorios de la maquinaria prevista para la excavación del sótano vecino. En la presente comunicación se resume el proceso de análisis seguido y se comentan los resultados obtenidos en dichas pruebas.

Palabras clave: Ensayos no destructivos, Patología de la construcción.

1 Objeto del estudio

Los nueve edificios de entre dos y cinco plantas que constituyen el objeto del estudio datan de finales del siglo XVIII y principios del XIX, construyéndose mayoritariamente sobre los restos de construcciones anteriores. Están ubicados en la manzana limitada por las calles Escodines, Montserrat y Sant Antoni del casco histórico de Manresa. En dicha manzana se optó por derribar la mitad de los edificios con fachada a la calle Montserrat para construir un edificio de viviendas de varias plantas de altura y tres sótanos destinados a

[*] Prof. Catedrático de la Universidad Politécnica de Catalunya.
[†] Prof de la Fundación Universidad Politécnica de Catalunya.
[‡] Prof. de la Universidad Politécnica de Catalunya.
[§] Prof. de la Universidad Politécnica de Catalunya.

aparcamiento de vehículos. Con el derribo, las fachadas posteriores de los viejos edificios quedaron al descubierto, rompiéndose los puntos de contacto con los edificios derribados. La finalidad del estudio consistió en evaluar el estado de los edificios conservados y definir las medidas preventivas a adoptar en el proceso de construcción del nuevo edificio contiguo.

2 Descripción técnico-constructiva de los edificios. Toma de datos.

Se trata de edificaciones construidas con técnicas tradicionales. El estudio se inició con un levantamiento geométrico exhaustivo que se completó con la realización de numerosas calas en los diversos elementos constructivos para determinar de una forma precisa los materiales constituyentes y las secciones constructivas de los diversos elementos.

Se constató la existencia de diferentes fases constructivas tanto por lo que se refiere a crecimientos en altura como la modificación en ubicación de los accesos de los edificios. Durante el levantamiento también se pudo comprobar que se trataba de construcciones muy heterogéneas por lo que se refiere a los materiales utilizados. Esto se puede explicar debido en buena parte a su construcción en etapas y, también, a las formas habitualmente utilizadas en el lugar. Predominan, aunque no son reglas generales, los muros de piedra en planta baja y muros de tapial y adobe en plantas superiores, frecuentemente actuando como un muro de plementería situándose entre pilares de piedra que arrancan de planta baja. Se observa, como característica más determinante, una importante carencia de trabazón entre los distintos elementos que los componen. Cabe hacer mención que muchos edificios habían sido objeto de refuerzos anteriores.

La siguiente fase consistió en la localización y representación de los daños aparentes que presentaban los edificios. A tal efecto se hizo un levantamiento completo tanto de las grietas y fisuras como de otros daños tales como deformaciones síntomas de ataques bióticos, etc. En el estudio se propuso la colocación de testigos y comparadores en las grietas más críticas o indicativas y su seguimiento durante la construcción de la obra vecina.

3 Pruebas y ensayos

El plan de pruebas y ensayos que se diseñó y realizó con anterioridad al inicio de las obras del nuevo edificio, incluyó las siguientes actuaciones.

— Control experimental de las vibraciones durante la realización de trabajos de construcción con maquinaria;

— Estudio de los parámetros mecánicos de un muestreo de los techos de madera;

— Estudio de los parámetros mecánicos de un muestreo de los muros.

Se pretendía con ello disponer de datos para evaluar analíticamente la seguridad de los elementos estructurales primarios de los edificios y conocer los efectos mecánicos de las vibraciones inducidas en los edificios por la maquinaria utilizada durante la excavación y la construcción del muro pantalla vecino.

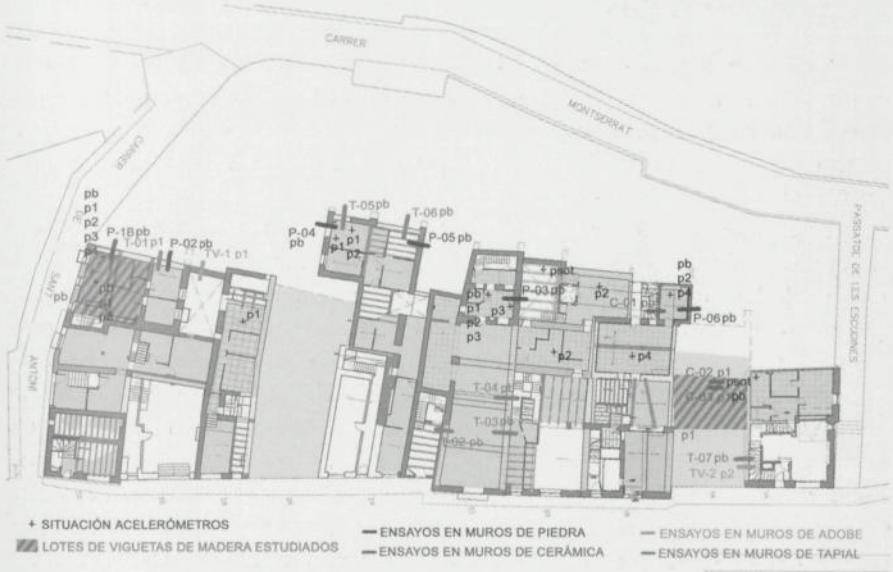


Figura 1: Situación de los ensayos realizados.

3.1 Control de vibraciones

Por lo que se refiere a las vibraciones, los ensayos se eligieron con el objeto de valorar el nivel de vibración producido en puntos significativos de las edificaciones durante la maniobra de perforación. Se realizaron medidas en la cimentación, forjados y paredes de edificios colindantes a la zona de perforación. Para ello se dispuso de un equipo de medida extensométrica con acelerómetros piezoresistivos fijados a diversos puntos seleccionados de los elementos estudiados. Como resultados cabe mencionar que las frecuencias propias de los forjados obtenidas mediante excitación artificial se encuentran entre 12,6 y 50,1 Hz, estando la mayoría entorno a los 20 Hz. Los resultados en los diferentes elementos constructivos correspondientes a medidas dinámicas con maquinaria en funcionamiento son los siguientes:

— Medidas en forjados: entre 0,04 g y 0,27 g

— Medidas en muros: entre 0,02 g y 0,25 g

— Medidas directamente sobre suelo: 0,75 g

Los resultados obtenidos permitieron descubrir niveles de vibración excesivos en los muros de dos de los edificios, lo cual indujo a proponer el cambio del sistema de excavación previsto y a retrasar la ubicación del muro pantalla en parte de su trazado. Por otra parte, se recomendó el control de los niveles de vibración mediante sismógrafos durante la fase de construcción del nuevo edificio.

3.2 Estudio de los techos de madera

Para el estudio de los parámetros mecánicos de los techos de viguetas de madera se tomaron muestras representativas en función de su accesibilidad y a las condiciones de humedad ambiente. Sobre dichas muestras se realizaron ensayos de extracción de microprobetas cilíndricas perpendiculares a las fibras y ensayos de penetración con broca informatizada. Los resultados de dichos ensayos permitieron obtener resultados de las características resistentes de las vigas y viguetas de madera por correlación matemática de los dos resultados. Se estudiaron 3 lotes de viguetas de madera con los siguientes resultados promedio:

Tabla 1: Resultados ensayos viguetas madera.

LOTE	σ_u (N/mm^2)
1	2,987
2	5,819
3	5,823

A partir de los ensayos se puede fundamentar la recomendación de sustitución funcional de algunos tramos de forjado debido a los bajos parámetros mecánicos de la madera.

3.3 Estudio de los parámetros mecánicos de los muros

Las pruebas presiométricas en los muros de piedra, tierra y ladrillo se realizaron con el fin de disponer de referencias parametrizadas de sus condiciones de resistencia a la compresión.

El método de ensayo aplicado, denominado (PiD) se lleva a cabo de la siguiente manera: se ejecuta una cavidad atravesando el muro con una máquina perforadora rotacional, se introduce la sonda de material elastómero y diámetro externo coincidente con el de la cavidad midiéndose la superficie de con-

tacto sonda-cavidad y, finalmente, se provee presión homogénea por el interior de la sonda tomando medida por escalones de carda de los pares de valores presión-deformación. De esta manera se puede obtener la gráfica buscada de tensión-deformación del material.

Tabla 2: Resultados ensayos muros de tapial.

CLAVE	σ_u (N/mm^2)	E (N/mm^2)
T-01	0,810	7,46
T-03	0,538	7,34
T-04	0,385	4,12
T-05	0,602	7,15
T-06	0,312	2,01
T-07	0,480	9,24

Tabla 3: Resultados ensayos muros de adobe.

CLAVE	σ_u (N/mm^2)	E (N/mm^2)
TV-01	0,658	6,29
TV-02	0,596	7,60

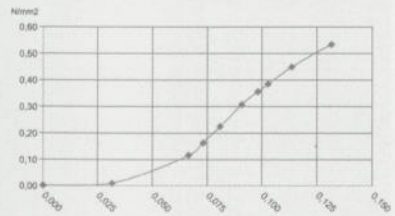


Figura 2: Gráfico tensión-deformación T-03.

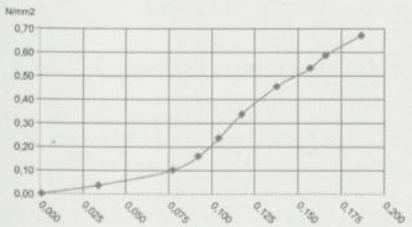


Figura 3: Gráfico tensión-deformación TV-1.

Tabla 4: Resultados ensayos muros de mampostería.

CLAVE	σ_u (N/mm^2)	E (N/mm^2)
P-1B	2,696	32,48
P-02	1,547	24,14
P-03	0,720	9,49
P-04	0,798	16,22
P-05	0,894	20,72
P-06	0,978	18,62

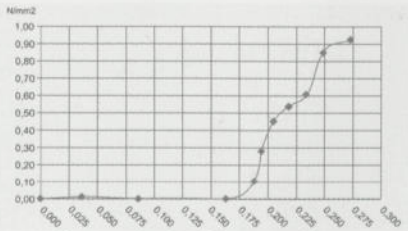


Figura 4: Gráfico tensión-deformación P-05.

A partir de los resultados que se muestran anteriormente se puede indicar que las tensiones de rotura o de inicio de fase plástica halladas cabe interpretarlas como las propias de los elementos constructivos ensayados, con las dispersiones habituales típicas de las construcciones históricas. Al comparar los gráficos tensión-deformación de los diversos tipos de muro se puede constatar la mayor fragilidad de los muros de piedra en relación a los de tapial y adobe así como una posible contribución de las juntas de mortero en la resistencia final de los muros de adobe, superiores a la de los muros de tapial.

4 Consideraciones finales

Es aconsejable relativizar la fiabilidad de una evaluación de los edificios fundamentada exclusivamente en una modelización analítica basada en los resultados de ensayos realizados. Por otra parte, se debe mencionar la existencia de dificultades para conseguir un muestro homogéneo y completo considerando las diversas variables presentes en este tipo de edificios y la gran heterogeneidad de los elementos estructurales existentes.

En consecuencia, se hace recomendable considerar, además de los resultados de los ensayos, los daños que presenta, los datos históricos, la resolución constructiva global del edificio o la existencia de un cierto código constructivo racional y, más concretamente, sus condiciones de rigidez y arriostramiento.

5 Bibliografía

[1] Lombillo, I.; Villegas, L. Metodologías no destructivas aplicadas a la rehabilitación estructural del patrimonio. *1ª Jornada Nacional sobre Metodologías no Destructivas Aplicadas a la Rehabilitación del Patrimonio Construido (REHABEND)*, 14 noviembre de 2006: pp. 27-52.

[2] Lozano, A.; Martín, A. Evaluación de las características mecánicas y del deterioro biológico de la madera in situ: técnicas de inspección no destructivas. *1ª Jornada Nacional sobre Metodologías no Destructivas Aplicadas a la Rehabilitación del Patrimonio Construido (REHABEND)*, 14 noviembre de 2006: pp. 177-186.

[3] Clarke, B. G. *Pressuremeters in Geotechnical Design*. Cambridge: Routledge, 1994.

[4] *On-site control and evaluation of masonry structures*. L. Binda and R.C. Vekey ed. Bagneux: RILE PUBLICATIONS, 2003.

TÉCNICAS NO DESTRUCTIVAS APLICABLES AL DIAGNÓSTICO DE MUROS DE FÁBRICA

Ignacio Lombillo*
ignacio.lombillo@unican.es

Luis Villegas†
luis.villegas@unican.es

Jorge Elices‡
jorge.elices@unican.es

Resumen

El propósito de la comunicación es aportar una visión actualizada de algunas de las metodologías no destructivas aplicadas, de forma general, al diagnóstico de muros de fábrica tanto de piedra como de ladrillo.

Existe una necesidad imperante de regir los procesos de inspección y de intervención en rehabilitación de construcciones. Desde el punto de vista de la tecnología de estructuras es imprescindible conocer las características mecánicas de los elementos estructurales intervinientes, así como los niveles tensionales existentes en servicio. Actualmente la tendencia es obtener dicho conocimiento de forma no destructiva para dañar lo menos posible las construcciones involucradas.

A este respecto se va a aportar una descripción de las técnicas de gatos planos, hole-drilling y técnicas dilatométricas, exponiendo los resultados obtenidos sobre un muro de sillería arenisca construido en laboratorio.

Palabras clave: Gatos Planos, Hole Drilling, Dilatómetro, Presiómetro, Fábrica.

* Prof. Ayudante de la Universidad de Cantabria. Dpto. Ingeniería Estructural y Mecánica. Coordinador del Grupo de Tecnología de la Edificación (GTED-UC) y del Laboratorio de Ensayos No Destructivos de la UC (LABEND-UC).

† Prof. Catedrático de la Universidad de Cantabria. Dpto. Ingeniería Estructural y Mecánica. Director del Grupo de Tecnología de la Edificación (GTED-UC) y del Laboratorio de Ensayos No Destructivos de la UC (LABEND-UC).

‡ Ingeniero Técnico Industrial. Universidad de Cantabria. Dpto. Ingeniería Estructural y Mecánica. Investigador del Grupo de Tecnología de la Edificación (GTED-UC) y técnico del Laboratorio de Ensayos No Destructivos de la UC (LABEND-UC).

1 Introducción

El empleo de técnicas no destructivas, en general, y en particular las basadas en aspectos de carácter tensional, puede encuadrarse dentro de la fase de reconocimiento experimental.

En lo que sigue nos vamos a centrar en el empleo de técnicas basadas en aspectos tensionales (gato plano, hole drilling y dilatometría de fábricas). Para ello, en primer lugar se va a realizar una breve descripción de cada una de dichas técnicas [1 y 2], para a continuación exponer los resultados obtenidos sobre un muro de sillería arenisca construido en laboratorio.

2 Descripción de técnicas no destructivas basadas en aspectos tensionales

2.1 Técnicas de gatos planos

El ensayo de gatos planos (flat jacks) requiere solamente la remoción de una porción de mortero de las juntas de una fábrica, por ello que se considera un ensayo ligeramente destructivo (MDT) al ser un daño temporal y fácilmente reparable después de realizar el ensayo.

El objetivo de la técnica del gato plano consiste en obtener información estimativa y fiable sobre los siguientes parámetros:

— Estimación del estado tensional local de compresión.

— Estimación de las características de deformabilidad (módulo de deformación y coeficiente de Poisson) de la misma.

El ensayo queda dividido en dos fases, en la primera, se utiliza un gato plano para estimar el estado tensional (basado en el principio de liberación parcial de tensiones) de compresión en el punto elegido de la estructura; en la segunda fase, se emplean dos gatos planos con el fin de estimar las características de deformabilidad del material existente entre los dos gatos planos citados.

2.2 Técnica de hole drilling

La técnica de ensayo fue puesta a punto por el Prof. Santiago Sánchez Beitia. El método propuesto se enmarca en el campo de los Minor Destrucive Testing (MDT) para cuantificar las tensiones reales de servicio a la que están sometidas elementos estructurales de fábrica.

La técnica se basa en la medida de las deformaciones captadas por tres bandas extensométricas, convenientemente dispuestas, cuando se elimina por taladrado una parte del material. La eliminación de material origina una relajación de las tensiones existentes en la zona analizada, que es captada por las

bandas extensométricas. El estado tensional al que estaba sometida la zona analizada antes del taladrado puede deducirse, a partir de estas deformaciones.

2.3 Técnicas dilatométricas o presiométricas

La técnica dilatométrica o presiométrica se trata de un ensayo in situ realizado sobre un muro de cierto espesor en el que se introduce una tensión mediante una sonda cilíndrica que alojada en una perforación practicada en la pared puede dilatarse radialmente.

El procedimiento de ensayo consiste en taladrar una perforación, cuidando de reducir al mínimo la perturbación en la pared, con un diámetro compatible con el tamaño de sonda a introducir. A partir de las lecturas del ensayo, presión suministrada por la sonda e incremento de volumen, puede obtenerse la curva presión – volumen inyectado, de la que pueden estimarse parámetros mecánicos como el módulo de deformación de la fábrica.

3 Campaña experimental en laboratorio sobre un muro de sillería de arenisca

3.1 Construcción y transporte del muro

En primer lugar fue necesaria la construcción del elemento estructural, a base de sillares de arenisca y morteros de cal y cemento 1:2:10 (partes en volumen de cemento: cal: arena), así como su transporte bajo el pórtico de carga.



Figura 1: Transporte del muro.



Figura 2: Apertura de cargas.

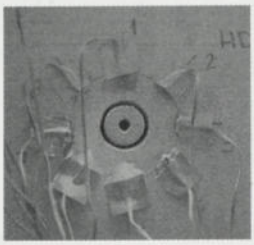
3.2 Obtención de parámetros previos

Para poder estimar el nivel tensional medio existente fruto de la aplicación de un determinado nivel de carga, fue necesario obtener previamente el ángulo de apertura de la carga introducida por la sufridera metálica en el muro. Para ello se dispusieron una serie de galgas extensométricas, ver Figura 2, para captar dicho fenómeno. Se adoptó una apertura de 23°.

En segundo lugar, para tener datos experimentales de contraste, se determinó, mediante la disposición de una serie de transductores electrónicos, el módulo de elasticidad del muro. Para ello se realizó un ensayo de compresión en cuatro escalones de carga (hasta alcanzar una carga total en cabeza del muro de 900 kN). El módulo de elasticidad obtenido fue de 1,992.00 N/mm^2.

3.3 Realización de ensayos de Hole drilling

En las figuras que se adjuntan puede observarse tanto el taladrado realizado, como la evolución de las medidas de deformación de las galgas dispuestas.



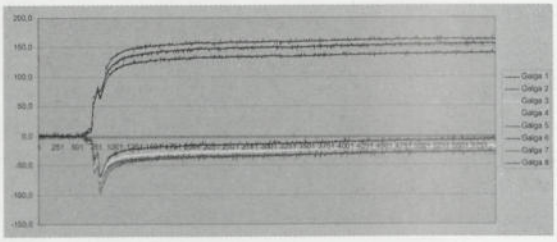


Figura 3 y 4: Ensayo hole drilling una vez realizado y resultados del mismo.

Los resultados obtenidos por las 8 combinaciones de galgas extensométricas fueron válidas, pudiendo concluir que la tensión vertical era de 1.65 N/mm^2 (fruto de una carga mantenida en cabeza del muro de 900 kN).

3.4 Realización de ensayos de Gato plano

Al igual que se procedió en los ensayos de hole drilling, se mantuvo constante una carga, en cabeza del muro, de 900 kN.

Seguidamente se procedió a la realización de los ensayos de gato plano simple y doble. A continuación se muestra una fotografía de uno de los ensayos de gato plano doble (Figura 5) realizados en el muro de sillería arenisca y el resultado de dicho de los ensayo (Figura 6).

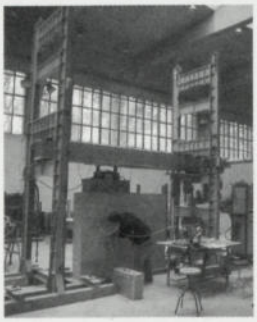


Figura 5: Instante de un ensayo de gato plano doble.

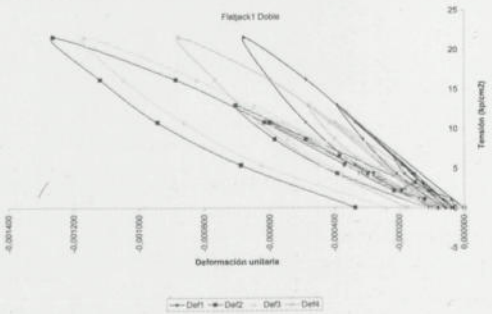


Figura 6: Resultado del ensayo, los parámetros estimados fueron: E=2,019.20 N/mm2, y ν=0.17.

3.5 Realización de ensayos dilatométricos

También se procedió a la realización de ensayos dilatométricos o presiométricos en el muro objeto de estudio. Una vez finalizada la perforación se introdujo la sonda, realizando ciclos de presión y leyendo los incrementos de volumen derivados. La gráfica obtenida, así como un instante del ensayo, se muestra a continuación.

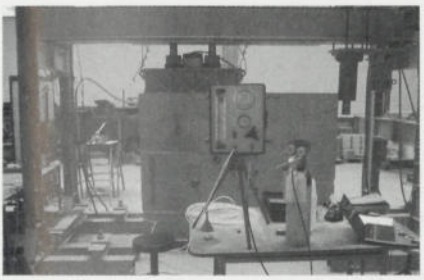


Figura 7: Instante de un ensayo presiométrico.

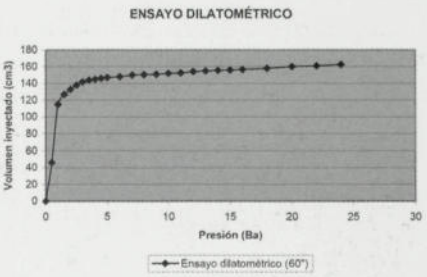


Figura 8: Grafica obtenida en el ensayo.

Con las presiones disponibles no se consiguió alcanzar la fase plástica y por ende la formulación para obtener E no fue aplicable.

4 Conclusiones

A continuación se presenta una tabla resumen de los resultados expuestos con anterioridad.

Tabla 1: Resumen de resultados.

Parámetros [1]	Datos de contraste (N/mm^2)	GP-A (N/mm^2)	GP-B (N/mm^2)	HD (N/mm^2)	DILAT. (N/mm^2)
Nivel tensional en el plano de ejecución de GP-A	2.06	2.45 (ε = 15.75 %)			
Nivel tensional en el plano de ejecución de GP-B	2.15		1.94 (ε = 9.72 %)		
Módulo de deformación del muro de sillería	1,992.00	2,320.50 [2] (ε = 14.16 %)	2,019.20 [2] (ε = 1.35 %)		----
Nivel tensional en el plano de ejecución del HD	1.72			1.65 (ε = 3.61 %)	

[1] Se considera una apertura de cargas 23°, y como nivel tensional el medio en el plano. La anchura del muro son 31 cm.

[2] Se considera el módulo secante medio en el ciclo de carga 1.

En relación a la técnica **Hole Drilling** puede concluirse que se trata de un ensayo ligeramente destructivo. Ofrece la posibilidad de obtener las tensiones principales, y por ende la tensión en cualquier dirección. Tiene el inconveniente de necesitar ensayos complementarios para la obtención de las características mecánicas (E y v) del material soporte de las galgas extensométricas. En relación a la obtención de los niveles tensionales involucrados, en fábricas de sillería, dada su regularidad, a priori, el ensayo se muestra como adecuado.

En relación a la técnica de **Gatos Planos** puede concluirse que también se trata de un ensayo ligeramente destructivo y muy intuitivo. La fase crítica del ensayo es realizar una roza adecuada, pues de su adecuación depende mucho la bondad de los resultados. Una ventaja es que mediante el complemento del gato plano doble, se pueden estimar las características mecánicas (E y v) del muro, por lo que se muestra como un ensayo más completo que el hole drilling.

En relación a la técnica de **Dilatometría**, aludir a que se requiere un esfuerzo importante y útiles adecuados para realizar perforación. Como para calcular el módulo presiométrico es necesario, según la formulación relacionada, el alcanzar la fase plástica, es necesario disponer de capacidad para involucrar presiones importantes para caracterizar medios rígidos (como pueda ser la fábrica de sillería comentada en la sesión), caso contrario únicamente se muestra aplicable a fábricas bastante deformables.

5 Agradecimientos

El Grupo de Tecnología de la Edificación de la Universidad de Cantabria agradece al Gobierno de Cantabria la confianza depositada en el equipo del proyecto, a través de la convocatoria "Plan de Gobernanza Tecnológico (PGT 33/2006)".

6 Bibliografía

[1] Varios autores. *Metodologías no destructivas aplicadas a la rehabilitación del patrimonio construido*. Santander: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cantabria (Villegas, L.; Lombillo, I), ISBN 978-84-690-5269-3. 2007.

[2] Villegas, L.; Lombillo, I. Metodologías no destructivas aplicadas a la rehabilitación del patrimonio construido: un estado del arte (Parte 1). *Revista END de la Asociación Española de Ensayos No Destructivos*, 1er cuatrimestre 2008: 8-15 pág.

TECNICAS DE ULTRASONIDOS APLICADAS AL RECONOCIMIENTO "IN SITU" DE DISCONTINUIDADES VISIBLES EN SOLERAS DE HORMIGÓN ARMADO

J. LL. Zamora-Mestre*
joan.lluis.zamora@upc.edu

M. J. García Hernández†

1 Descripción

El equipo que presenta esta comunicación ha venido observando desde hace tiempo una anomalía que presentan en el estado español las soleras contínuas realizadas con hormigón armado ejecutado "in situ" y que estan en contacto con el terreno (Figura 1). La especificación técnica más habitual en estas soleras se corresponde con la descrita en la norma española NTE-RSS 1973 (Figura 2). Se trata de unas discontinuidades visibles en su superficie cuyo trazado irregular no coincide con las juntas constructivas previstas en el proyecto. Su aspecto causa alarma entre los usuarios de dichos locales. Se plantea pues responder técnicamente a esta incertidumbre: ¿se trata realmente de fisuras (discontinuidades que no afectan a la solera en todo su espesor) o bien se trata de grietas (discontinuidades que afectan la solera en todo su espesor y que por lo tanto la han roto?)



Figura 1: local de aparcamiento.

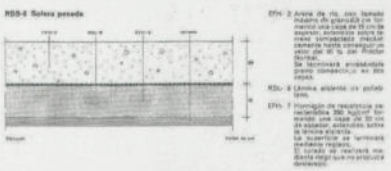


Figura 2: Especificación técnica tipo.

* Universitat Politècnica de Catalunya, ETS Arquitectura del Vallès, Sant Cugat del Vallès, Spain.

† Universitat Politècnica de Catalunya, ETS Enginyers de Telecomunicacions de Barcelona, Barcelona, Spain.

2 Calificación de discontinuidades según su profundidad

El objetivo de la auscultación es determinar si se trata de discontinuidades superficiales o bien si se trata de auténticas roturas en todo el espesor de la solera. No se aborda en esta campaña la calificación del daño que supone este defecto, es decir, en qué medida cambian sus condiciones de comportamiento y resistencia. El equipo técnico no conocía la existencia de precedentes de técnicas de evaluación "in situ" de la profundidad de discontinuidades que se manifiestan en la superficie de soleras de hormigón armado. Por este motivo se desarrolló una técnica específica basada en la norma UNE 83-308-88 y en diversos artículos publicados en la revista "Ultrasonics" (ver 5. Referencias). Esta técnica se basa en el fenómeno físico que los ultrasonidos (sonidos de frecuencia > 20 KHz, y por tanto no audibles para el oído humano) se transmiten adecuadamente por materiales continuos pero no por materiales rotos. La propagación de ultrasonidos en el hormigón responde a un comportamiento no lineal que se manifiesta principalmente en dos conceptos:

a) El material "hormigón" es un medio de transmisión de los ultrasonidos que tiene un comportamiento dispersivo, es decir, que la atenuación y la velocidad de propagación de la onda sonora dependen de la frecuencia: a mayor frecuencia mayor atenuación, y también mayor velocidad de propagación. Las frecuencias más altas viajan por el hormigón más rápido pero su amplitud decrece rápidamente en esa misma distancia recorrida.
b) La propagación de las ondas se produce de acuerdo con distintos modos de propagación: ondas longitudinales o de presión, ondas transversales o de esfuerzo rasante y ondas superficiales, ondas que llevan el nombre de Raleigh y otros físicos ilustres, que presentan otros diversos "submodos" también.

Se trata pues de situar un emisor E y un receptor R a ambos lados de la discontinuidad y comprobar cual es el tiempo que tarda el ultrasonido en recorrer el espacio entre ellos. La hipótesis de trabajo es que la propagación de la onda longitudinal se realiza siempre por el camino más corto, tratando de esquivar en profundidad la discontinuidad superficial. Cuanto mayor es el tiempo transcurrido, mayor ha sido la distancia recorrida por la onda y por tanto mayor la profundidad que alcanza la discontinuidad, tal como se aprecia en la imagen (Figura 3). Este tiempo de recorrido es menor cuando se incrementa, para la misma frecuencia de emisión, la amplitud de la excitación o la ganancia del procesador de la señal.

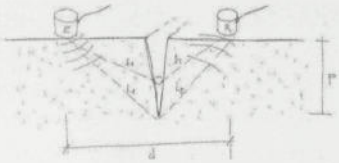


Figura 3



Figura 4

d: Distancia horizontal entre emisor (E) y receptor (R)
l1+l2: Distancia más corta recorrida por una señal secundaria (más débil) desde E hasta R aprovechando los pequeños contactos producidos por la contaminación entre labios de junta.
L1+L2: Distancia más larga recorrida por la señal principal (más intensa) entre E y R
t: Tiempo que requiere una señal ultrasónica para ir desde E hasta R
c: Velocidad "virtual" de la señal que va desde E hasta R, = (L1 + L2) / t
p: Profundidad de la discontinuidad, deducida por triangulación, a partir de la velocidad de la señal ultrasónica conocida en el medio, la distancia recorrida por la señal y el tiempo empleado.

3 Estudios realizados

Para validar el equipo y el proceso de reconocimiento se procedió a realizar una campaña de medición denominada de referencia (R) para contrastar los resultados obtenidos en diversas situaciones de continuidad y discontinuidad. Se aplicó en tres edificios similares (A, B y C) proyectados por el mismo arquitecto y realizados por la misma empresa constructora en un reducido lapso de tiempo, los cuales presentaban la misma anomalía. Se utilizó un equipo de medición compacto (www.matest.com) que integraba las funciones de emisión y recepción de los ultrasonidos (55 khz), así como el análisis comparativo de la señal emitida y la señal recibida. Con este equipo se mide el tiempo de viaje del ultrasonido entre dos transductores, emisor y receptor, colocados en la superficie del pavimento (Figura 5). El equipo detecta la primera señal que llega al receptor y que presenta una amplitud superior a su nivel de sensibilidad. Este equipo permite ajustar el voltaje de la señal emitida (potencia) y la ganancia (precisión de la recepción). El equipo se aplicó a la medición con el ajuste 1 (AJ1=250 voltios, ganancia 25), que se considera el básico (en las tablas de medidas con fondo gris). Sin embargo es posible que la llegada prematura al receptor de un conjunto de ondas de amplitud inferior a sensibilidad mínima no sea detectado por el ajuste 1; en este caso el tiempo que mide el aparato corresponde a un conjunto de ondas posteriores pero de una amplitud suficiente para superar el nivel de detección del equipo. Por ello en algunos casos se ha aplicado el ajuste 2 (AJ2= 1000 voltios, ganancia 60) para verificar si existen pequeños puntos de continuidad por contaminación de la discontinuidad, puntos que constituyen recorridos alternativos pero minoritarios.



1 Posicionamiento, a distancia, del emisor y receptor con galga trasparente de 150 mm.



2 Marcado y numeración de los puntos de medición;
3 Aplicación de vaselina entre transductores y hormigón.



4 Medición del tiempo de recepción de la señal en la pantalla del equipo.

Figura 5: Protocolo del proceso de la medición



Tipo A: continuidad aparente del hormigón



Tipo B: junta de dilatación



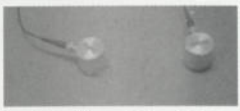
Tipo C: junta de control



Tipo D1: discontinuidades espontáneas longitudinales



Tipo D2: discontinuidades espontáneas transversales



Tipo D3: idem D1 y D2 pero con acabado pintado

Figura 6: Tipos de juntas constructivas y de discontinuidades.

Tabla 1: tipo A	ajuste	T (micro s) tiempo	"c" (m/s) velocidad(1)	p (mm) profundidad
Edificio A AR 1-2	AJ1	67,3	2228,83	0,00
Edificio A AR 1-3	AJ1	67,4	2225,52	0,00
Edificio A AR 5-6	AJ1	72,6	2066,12	0,00
Edificio B AR 1	AJ1	72,1	2080,44	0,00
Edificio B AR 1	AJ2(2)	55	2727,27	0,00
Edificio B AR 2	AJ1	70,7	2121,64	0,00
Edificio B AR 2	AJ2(2)	56	2678,57	0,00
Edificio C AR 1	AJ1	49,5	3030,30	0,00
Edificio C AR 1	AJ2(2)	45,5	3296,70	0,00
Edificio C AR 2	AJ1	56	2678,57	0,00
Edificio C AR 2	AJ2	50,6	2964,43	0,00

(1) En un hormigón sin discontinuidades la velocidad "c", para AJ1, varía de un edificio a otro e incluso varía dentro de un mismo edificio, en un rango de 2000 a 3000 m/s.
(2) al aplicar AJ2, la velocidad "c" aumenta.
(3) al realizar la prueba se pueden detectar en ocasiones valores no coherentes porque existe el riesgo que la transmisión de las ondas se realice en parte a través de alguna armadura de acero del hormigón armado.

Tabla 2: tipo B (4)	ajuste	T (micro s) tiempo	"c" (m/s) velocidad	p (mm) profundidad
Edificio A BR 1	AJ2(2)	112,7	1330,97	100,28
Edificio A BR 2	AJ2(2)	340,0	441,18	370,26
Edificio B BR 1	AJ1(4)	1000	150,00	1047,84
Edificio B BR 1	AJ2(5)	203	738,92	263,90
Edificio B BR 2	AJ1(4)	1000	150,00	1047,84
Edificio B BR 2	AJ2	247	607,29	325,28
Edificio C BR 1	AJ1(4)	1000	150,00	1425,25

Tabla 2: tipo B (4)	ajuste	T (micro s) tiempo	"c" (m/s) velocidad	p (mm) profundidad
Edificio C BR 1	AJ2(5)	293	511,95	452,45
Edificio C BR 2	AJ1(4)	1000	150,00	1425,25
Edificio C BR 2	AJ2(5)	189	793,65	286,17

(4) Cuando se examina una discontinuidad total hay que considerar que las ondas también se pueden propagar en parte a través de la capa inferior sobre la que se apoya la solera. Esta capa está formada habitualmente por una sub-base de arena, grava y alguna lámina impermeabilizante, conjunto que presenta un bajo módulo elástico y por tanto una velocidad de transmisión menor. Todo ello puede ocasionar que el tiempo T sea superior y, al estimar por este método indirecto la profundidad de la discontinuidad, resulten valores notablemente superiores al espesor de la placa.
(5) Al aplicar AJ2, la profundidad estimada se reduce pero aun supera el espesor de la solera.

Tabla 3: tipo C(6)	ajuste	T (micro s) tiempo	"c" (m/s) velocidad	p (mm) profundidad
Edificio A CR 1	AJ1	57,0	2631,58	armadura (3)
Edificio A CR 2	AJ1	76,0	1973,68	38,81
Edificio B CR 1	AJ1	82,6	1815,98	43,64
Edificio B CR 1	AJ2	62,7	2392,34	39,44
Edificio B CR 2	AJ1	82,4	1820,39	43,22
Edificio B CR 2	AJ2	63	2380,95	40,30
Edificio B CR 3	AJ1	63	2380,95	armadura (3)
Edificio B CR 3	AJ2	60,9	2463,05	33,90
Edificio C CR 1	AJ1	136,3	1100,51	179,49
Edificio C CR 1	AJ2	117,7	1274,43	168,28
Edificio C CR 2	AJ1	72	2083,33	70,25
Edificio C CR 2	AJ2	68	2205,88	75,53

(6) En el caso de las juntas de control realizadas voluntariamente en obra la profundidad de la discontinuidad debiera ser uniforme y de valor 1/3 del espesor (entre 38 y 43 mm) según determina la norma. Aun así se detecta que la tolerancia de la precisión de ejecución alcanza los 5 mm y que en algún caso se ha iniciado en el propio corte otra discontinuidad que casi rompe la losa.

Tabla 4: tipo D (7)	ajuste	T (micro s) tiempo	"c" (m/s) velocidad	p (mm) profundidad
Edificio A D1R 1	AJ1	90,8	1651,98	67,48
Edificio A D1R 2	AJ1	88,1	1702,61	62,91
Edificio B D1R 1	AJ1	114	1315,79	93,37
Edificio B D1R 1	AJ2	88,6	1693,00	93,34
Edificio B D1R 2	AJ1	142	1056,34	128,95
Edificio B D1R 2	AJ2	108	1388,89	125,21
Edificio C D1R 1	AJ1	211	710,90	291,65
Edificio C D1R 1	AJ2	85	1764,71	109,90
Edificio C D1R 2	AJ1	125	1200,00	161,87
Edificio C D1R 2	AJ2	105	1428,57	146,24

(7) Al aplicar AJ1 en la mayor parte de las discontinuidades la profundidad no superaba el 50% del espesor de la solera y cuando lo superaba la solera estaba rota. Al aplicar AJ2 la situación mejoraba lo que da sentido a la hipótesis de existencia de recorridos alternativos con menor energía asociada.

Tabla 5: tipo D2 (8)	ajuste	T (micro s) tiempo	"c" (m/s) velocidad	p (mm) profundidad
Edificio A D2R 1	AJ1	115,7	1296,46	104,41
Edificio A D2R2	AJ1	160,0	937,50	161,18
Edificio B D2R 1	AJ1	386	388,60	398,50
Edificio B D2R 1	AJ2	220	681,82	287,71
Edificio B D2R 2	AJ1	1000	150,00	rota
Edificio B D2R 2	AJ2	106	1415,09	122,05
Edificio C D2R 1	AJ1	139	1079,14	183,66
Edificio C D2R 1	AJ2	122	1229,51	175,62
Edificio C D2R 2	AJ1	132	1136,36	172,82

Tabla 5: tipo D2 (8)	ajuste	T (micro s) tiempo	"c" (m/s) velocidad	p (mm) profundidad
Edificio C D2R 2	AJ2	93	1612,90	124,76

(8) En la mayor parte de las discontinuidades la profundidad superaba el 50% del espesor de la solera y cuando lo superaba la solera estaba rota. Al aplicar AJ2 la velocidad aumentaba, lo que da sentido a la hipótesis de existencia de recorridos alternativos con menor energía asociada.

Tabla 6: tipo D3(9)	ajuste	T (micro s) tiempo	"c" (m/s) velocidad	p (mm) profundidad
Edificio A D3R1	AJ1	94,5	1587,30	73,48
Edificio A D3R2	AJ1	78,5	1910,83	44,53
Edificio B D3R1	AJ1	1000	150,00	rota
Edificio B D3R1	AJ2	194	773,20	251,23
Edificio B D3R2	AJ1	117	1282,05	97,38
Edificio B D3R2	AJ2	114	1315,79	134,58
Edificio C	No habían zonas de pavimento de pintura			

(9) La aplicación de un acabado de pintura parece disminuir la magnitud de las discontinuidades.

4 Conclusiones de la campaña de referencia

1. Los resultados obtenidos en esta campaña de referencia (R) han sido suficientemente coherentes, lo que demuestra que esta técnica se ha desvelado como una herramienta práctica, simple y fiable para evaluar este tipo de discontinuidades.

2. Es necesario determinar previamente la velocidad media de transmisión del ultrasonido en cada solera tras un sencillo muestreo en una zona sin discontinuidades aparentes ni posibles armaduras.

3. La existencia de armaduras próximas se detecta de forma clara por lo que en esos casos se desestima la medición afectada y se repite de nuevo en un entorno cercano.

4. Las discontinuidades aparentes profundizan fácilmente el 50% del espesor de la solera y en algunos casos puntuales la interrumpen totalmente (rotura total).

5. Las juntas de control son a menudo origen de nuevas discontinuidades espontáneas que profundizan la solera hasta un 50% de su espesor.

5 Referencias

[1] *Advancement of the nondestructive evaluation concrete using transient elastic waves.* T.-T. Wu , P.-L. Liu. Ultrasonics 36 (1998) 197-204

[2] *Nondestructive evaluation of defects in concrete by quantitative acoustic emission and ultrasonics.* M. Ohtsu , M. Shigeishi , Y. Sakata . Ultrasonics 36 (1998) I87- I95

[3] *Use of ultrasonics to follow crack growth.* A. Van Hauwaert, J.-F. Thimus, F. Delannay. Ultrasonics 36 (1998) 209-217

ESTUDIO DIAGNOSTICO DE LOS MATERIALES PÉTREOS DE LAS FACHADAS DEL AYUNTAMIENTO DE ELX

M. Louis Cereceda[*]
miguel.louis@ua.es

Y. Spairani Berrio[†]
spairani@ua.es

M. A. García del Cura[‡]
angecura@ua.es

R. Prado Govea[§]
raul.prado@ua.es

J. A. Huesca Tortosa[**]
ja.tortosa@ua.es

S. Spairani Berrio[††]
silvia.spairani@ua.es

Resumen

El presente trabajo expone los resultados obtenidos en el análisis de los materiales pétreos utilizados en la construcción del ayuntamiento de Elx (Spain) y las propuestas de intervención realizadas para evitar el deterioro de sus fachadas.

El Ayuntamiento de Elx, es un edificio catalogado y protegido. Se encuentra en el centro de la ciudad, cerca del río Vinalopó. Se comenzó a edificar en el año 1441, siendo transformado en palacio renacentista en 1548 y vuelto a ampliar por última vez en 1645.

La fachada principal, realizada en piedra vista, no presenta lesiones de importancia pero si alteraciones puntuales de la piedra, ensuciamiento generalizado y actuaciones antrópicas desafortunadas.

Para el estudio de los materiales pétreos empleados en la ejecución del conjunto, se han tomado las muestras necesarias para su análisis en laboratorio para la determinación de sus características y sus procesos de alteración, así como de los tratamientos a realizar para su conservación.

Se ha empleado para ello el microscopio petrográfico, el M.E.B., la difracción de rayos X, el porosímetro de mercurio y un aparato de ultrasonidos.

A partir de los resultados de laboratorio se han indicado los sistemas de limpieza a emplear, la aplicación de biocidas, la reintegración de fragmentos y el sellado de fisuras, así como los sistemas de consolidación y protección.

Palabras clave: Arquitectura, patrimonio, restauración y diagnóstico.

[*] Catedrático, Universidad de Alicante, Dpto. Construcciones arquitectónicas.
[†] Prof. titular, Universidad de Alicante, Dpto. Construcciones arquitectónicas.
[‡] Investigadora del C.S.I.C.
[§] Prof. Colaborador, Universidad de Alicante, Dpto. Construcciones arquitectónicas.
[**] Universidad de Alicante, Dpto. Construcciones arquitectónicas.
[††] Universidad de Alicante, Dpto. Construcciones arquitectónicas.

1 Introducción

El edificio del Ayuntamiento se encuentra entre dos plazas, la de Dalt y la de Baix, ocupando una parcela rectangular en el centro de la ciudad de Elx, cerca del río Vinalopó. Es una zona de calles estrechas, con edificaciones entre 3 y 4 alturas.

La *Torre del Consell*, (Figura 1) integrada en el Ayuntamiento, es la construcción municipal más antigua del sur de la Comunidad Valenciana, ya que se comenzó a edificar en el año 1441 bajo la dirección del *mestre Beiam*. Tenía dos cuerpos y estaba integrada en la muralla, de tal modo que su cuerpo inferior servía de paso entre la *Plaça de Baix*, a extramuros, y el mercado, dentro ya de la vila murada. Adosada a ella, en el lado de Poniente, se levantaba la Lonja [1].

En 1548 Sebastià Alcaràs convirtió el conjunto Torre-Lonja en un palacio renacentista, prolongando la Sala del Consell sobre la Lonja, y elevando la Torre, la cual fue coronada con una galería abierta.

En 1645 se produce la última y definitiva ampliación que consistió en la construcción del ala de Levante. De este modo, la Torre quedó situada en el centro mismo del edificio.

El edificio que hoy observamos se compone de un cuerpo central o torre, con el pórtico de acceso y dos grandes huecos, con dos laterales rematados por elementos a modo de torres más pequeñas. La planta noble tiene grandes huecos con balcones de hierro forjado, los bajorrelieves de los guardapolvos con motivos vegetales de los huecos centrales son renacentistas y el cuerpo central y los dos extremos están rematados con galería de arcos de medio punto.

Los muros de las fachadas están realizados con sillares de mediano formato y con juntas de poco espesor, todo ello patinado, dando la sensación de una superficie continua. No tenemos datos de si son de una, dos o tres hojas, pero por la época de construcción deben ser de este último tipo, al menos en la torre, donde la sillería es vista a dos caras.

La piedra utilizada sería de las canteras de Ferriol [2], lo que comprobaremos en los análisis, aunque en dichas canteras se extrajeron materiales bastante heterogéneos. Los morteros son de cal aérea y arena.

La fachada principal no presenta lesiones de importancia, debidas a movimientos estructurales, pero si alteraciones puntuales de la piedra, ensuciamiento generalizado y actuaciones antrópicas desafortunadas. Se observan pátinas de distintos tipos y colores aplicadas para disimular parcheos de mortero sobre la sillería.

El escudo y los adornos sobre los huecos, elementos de compleja labra, tienen abundantes fisuras y microfisuras por alteración del material pétreo.

El zócalo es la zona más afectada por la acción de las sales solubles [3, 4] que producen grandes alvéolos en los materiales pétreos [5] por lo que se han efectuado numerosas sustituciones de material.

Para el estudio de los materiales pétreos de distintos tipos y características empleados en la ejecución del conjunto, se han tomado las muestras necesarias para su análisis en laboratorio.

2 Metodología y resultados

El número de muestras a realizar se ha determinado de acuerdo al protocolo indicado por la RILEM [6] para cada uno de los materiales y estará en función del número de fachadas, de la orientación, de la altura respecto al suelo y del grado de alteración de los materiales.

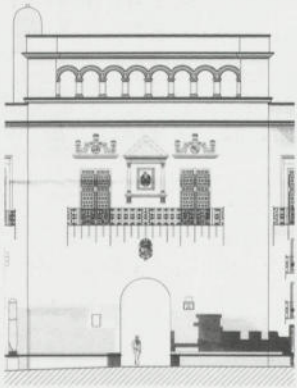


Figura 1: Alzado de la *Torre del Consell*, desde la plaza.

Con dichas muestras se han realizado los pertinentes trabajos de laboratorio para la determinación de las características de los materiales y sus procesos de alteración, así como de los tratamientos a realizar para su conservación [7].

La piedra es bastante homogénea y porosa. Se trata de una calcarenita de grano muy fino, más bien una biocalcarenita ya que contiene abundantes fósiles. Está constituida principalmente por globigerínidos y esferulitos, contiene otros foraminíferos de pequeño tamaño, radiolarios y espículas de esponja.

En microscopio petrográfico (Figura 2) el pétreo muestra poca cohesión debido en parte al material argilomicaceo, tipo glauconita que presenta. Además tiene poco cemento que une los fósiles ya que es principalmente matriz micrítica

Composición mineralógica: Componentes mayoritarios: Calcita. 78-89%.**Componentes minoritarios:** Cuarzo: 7-11%, Glauconita: 1%, **Minerales accesorios:** Apatito, micas y opacos.

Para las observaciones con el MEB se ha empleado un aparato Jeol JSM-840 de la Universidad de Alicante, en modo de electrones secundarios y han dado los siguientes resultados: La superficie de la roca presenta indicios de pérdida de granos. Cuando se hace un análisis químico global de la superficie se observa Ti, y puede ser debido a algún tratamiento de pátina o pintura, de la que podrían conservarse restos en las zonas más planas de las fotografías. En una muestra se observa una sección de briozoo muy bien conservada, también se ve la cementación (cristales relativamente pequeños de calcita idiomorfa), que no ocluye totalmente la porosidad. Hay abundantes restos de foraminíferos (Figuras. 3 y 4).

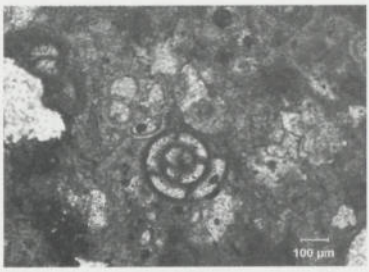


Figura 2: Aspecto de la matriz y los fósiles en lámina delgada.

Los difractogramas de las muestras de piedra dan todos resultados muy similares, variando el % de calcita entre el 75 y el 87 y el cuarzo entre el 7 y el 13, variando notablemente la presencia de terrigenos y otros minerales secundarios, consecuencia lógica por la formación sedimentaria de estas piedras (Figura 5). El porosímetro de mercurio permite cuantificar la porosidad de forma global y en distintos rangos según su diámetro (Tabla 1). Se han analizado tres muestras para comprobar si son susceptibles de la penetración del agua por capilaridad. Para un mismo porcentaje de porosidad, a menor diámetro de poros mayor ascensión capilar. También se ha comprobado la densidad real del material (Figura 6).

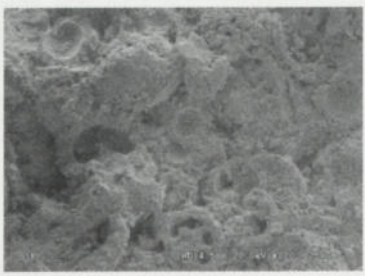


Figura 3: Observación al M.E.B. pérdida de granos.



Figura 4: Aspecto de los fósiles.

Tabla 1. Parámetros del sistema poroso.

Porosidad conectada, P(Hg) [%]	3.74
Radio medio, r_m (Hg) [μm]	0.28
Área superficial, S(Hg) [m^2/g]	0.17
Densidad conjunto, ρ_C (He) [g/cm^3]	2.77

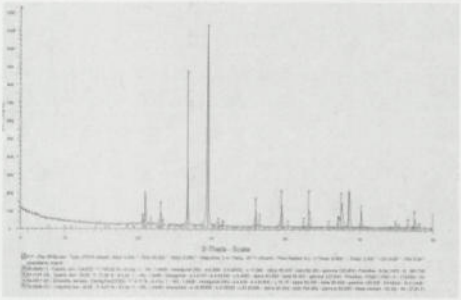


Figura 5: Difracción de rayos X. Picos de calcita en rojo y cuarzo en azul.

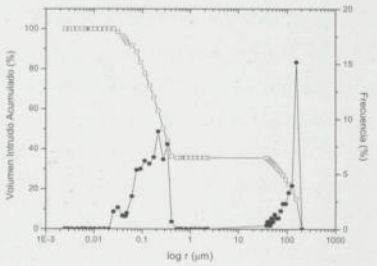


Figura 6: Porosimetría de mercurio. Curva acumulada y distribución de radios de poros.

Mediante el aparato portátil de ultrasonidos "Ultrasonic tester E-46" se han realizado diversas mediciones en sillares, especialmente en elementos agrietados, con el fin de determinar la velocidad sónica en cada caso, siguiendo la metodología descrita por Facaoaru&Lugnani en 1993 [8]. Los valores altos de dicha velocidad se corresponden con una mayor densidad del material, mientras que los bajos o la inexistencia de señal, se deben a una mayor heterogeneidad y porosidad en general, o a discontinuidades como puede ser una grieta pasante.

Comparando con valores patrón (3000 mm/seg en calizas compactas o 5000 mm/seg en mármoles), se puede clasificar el material pétreo del edificio como de una compacidad media, ya que varía entre 1419 y 1946 mm/seg en las muestras sanas y en el entorno de 980 mm/seg cuando existen pequeñas grietas o irregularidades.

3 Conclusiones

Las operaciones a realizar están destinadas a recuperar el aspecto original de las fachadas y la funcionalidad de los elementos constructivos que la componen, frenando los procesos de deterioro.

A partir pues de los resultados de los análisis, se hacen propuestas de soluciones en los siguientes aspectos:

Sistemas de limpieza a emplear, dentro de los existentes en el mercado. Dadas las características de la piedra se aconsejó hacerlo mediante

microproyección de silicato de aluminio en toda la superficie de las fábricas. Luego se debe aplicar por rociado a baja presión un limpiador ácido de base acuosa, para posteriormente lavar con agua para eliminar los restos del producto y que no ataque a las piedras.

Se propuso la aplicación de tratamientos biocidas, herbicidas y fungicidas en zonas afectadas. Se consideró fundamental la eliminación de sales mediante la aplicación de un inhibidor de las mismas [8]. También se dieron soluciones para la reintegración de piedra, rejuntados, sellado de grietas, sustitución de morteros con aportación de piedra nueva o materiales de características similares a los existentes.

Una vez reparadas todas las piezas de sillería se debe proceder a la consolidación de aquellas que presenten arenización superficial, empleando para ello etilsilicatos con catalizador hidrolítico en disolución de etanol, con adición de polvo mineral en casos de gran oquedad.

Las fábricas se deben hidrofugar para protegerlas de la acción del agua y evitar los depósitos de suciedad. Para ello se sugiere emplear un producto formulado con metil-polisiloxano transparente.

4 Bibliografia

[1] JAEN I URBAN, G ET ALT. *Guía de arquitectura de la provincial de Alicante*. Inst. Cultura Juan Gil-Albert y Colegio territorial de arquitectos de Alicante, 1999, pp. 154.

[2] LA IGLESIA, A., LOUIS, M., BERNABEÚ, A. y GARCÍA DEL CURA M. A. *Eflorescencias salinas en monumentos en clima semiárido: el Caso del Puente Viejo de. Elche (Alicante)*, 2005, Macla 3, pp. 115-116.

[3] PAULY, J.P. (1996). "Altération alvéolaire: évolution et climatologie. Mém. Soc. Géol. France,1996, pp. 169, 421-426.

[4] BRADLEY S and THICKETT D. *An investigation into the movement of moisture and soluble salts in stone. 7 th. Int. Cong. on deterioration and conservation of stone*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1992, Lisbon.

[5] C.N.R.-I.C.R. (Istituto Centrale del Restauro) *Coeficiente di assorbimiento capillare*, 1983, Doc. Normal 11/82, Roma.

[6] RILEM NDT-1. *Recommendations for testing concrete by the ultrasonic pulse method.* Materials and Structures, n. 2, 1969.

[7] LAZZARINI L. and LAURENZI M. *Il restauro della pietra. Cedam. Padova*, 1986, pp. 307.

[8] LOUIS M., SPARIANI Y., CHINCHÓN S. *Study of treatments for the elimination of soluble salst and dampness in the repair of coating stone buildings*. 4th Int. Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean, 1997, Rodas, pp. 177-191.



SESSÃO XXII

ESTUDO DE CASOS

RELEVAMIENTO DE DAÑOS ESTRUCTURALES Y NO ESTRUCTURALES OCASIONADOS POR SISMOS EN ZONA DE SISMICIDAD MODERADA

Carlos Alberto Rodríguez[*]
crodriguez@herrera.unt.edu.ar

Oscar Dip[†]
odip@herrera.unt.edu.ar

Enrique E. Galíndez[‡]
egalindez@herrera.unt.edu.ar

Resumen

Se conoce que la vulnerabilidad estructural de aquellas edificaciones que fueron construidas en épocas previas a la creación de reglamentos y normativas sismorresistentes es elevada. En particular, esta aseveración posee mayor relevancia para aquellas en las que su diseño y los materiales con los que fueron construidas no son aptos para las acciones dinámicas que ocasionan los sismos. Adicionalmente, la escala temporal en la que los eventos sísmicos se presentan, en zonas de sismicidad moderada, no contribuye a valorar adecuadamente el riesgo sísmico.

En este trabajo, se evalúa la vulnerabilidad de construcciones de mampostería sin previsiones sismorresistentes, de diferentes tipologías y edades, en zona de peligrosidad sísmica moderada.

Los resultados del análisis fueron obtenidos tras realizar un relevamiento de los principales daños estructurales y no estructurales que afectaron edificaciones ubicadas en la región cercana al epicentro de un terremoto de magnitud 6.5 en la escala de Richter ocurrido el 07 de Septiembre de 2004, en la provincia de Catamarca, Argentina y sus réplicas. Dicho relevamiento, fue realizado por personal del Instituto de Estructuras de la Universidad Nacional de Tucumán en una extensa zona de la provincia de Catamarca, junto a instituciones gubernamentales a lo largo de tres años

Palabras clave: Daño Estructural, Sismo, Vulnerabilidad, Mampostería.

[*] Prof. e Investigador Instituto de Estructuras "Ing. Arturo M. Guzmán" U.N.T. Argentina.
[†] Docente e Investigador Instituto de Estructuras "Ing. A. M. Guzmán" U.N.T. Argentina.
[‡] Director Instituto de Estructuras "Ing. A. M. Guzmán" U.N.T. Argentina.

1 Introducción

En aquellas zonas tipificadas como de sismicidad moderada, es frecuente encontrar un significativo número de construcciones sin previsiones sismorresistentes, algunas de ellas de alta vulnerabilidad estructural frente a las acciones sísmicas. Un caso particular de éstas, lo constituyen aquellas edificaciones antiguas, generalmente diseñadas y construidas para soportar solamente cargas gravitatorias. Es por ello que, el riesgo sísmico para tales edificaciones, suele ser elevado aún frente a las acciones de sismos moderados.

La región Noroeste de la República Argentina, se encuentra tipificada por el Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES), en gran parte de su extensión como de sismicidad moderada y posee un número importante de construcciones de elevado valor patrimonial, construido entre el siglo XVIII al XX, con las características arriba descriptas. Ver Figura 1.

La actividad sísmica en la región, suele caracterizarse por ser eventos intraplacas, entre los 30 y 70 kilómetros de profundidad, poseen corta duración, pocos pulsos y generalmente las acciones poseen una marcada directividad en sentido Noroeste - Sudeste.

En el mes de septiembre de 2004, un terremoto de magnitud 6,5 puntos en la escala de Richter, se produjo en la provincia de Catamarca en las cercanías de su capital provincial, provocando daños moderados a severos en las construcciones de dicha ciudad y en poblaciones aledañas al epicentro.

En este trabajo, se presenta el relevamiento y caracterización de los distintos tipos de daños que afectaron un conjunto cercano a setenta construcciones entre las que se encuentran, templos, seminarios, hospitales, colegios, etc.



Figura 1: Mapa de Zonificación Sísmica de la República Argentina y edificios de alto valor arquitectónico y patrimonial pertenecientes a la muestra relevada.

2 Metodología de Relevamiento

Durante los tres años posteriores al evento sísmico, personal del Instituto de Estructuras "Ing. Arturo M. Guzmán" de la Universidad Nacional de Tucumán, Argentina, realizó relevamientos de los daños estructurales y no estructurales ocasionados por las acciones sísmicas siguiendo las recomendaciones de la Federal Emergency Management Agency, (FEMA - Estados Unidos) [1], Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, (AIS - Colombia) [2] y el Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES - Argentina) en los departamentos San Fernando, Valle Viejo, Capayán, Esquiú, Andalgalá, Pomán y Tinogasta de la provincia de Catamarca, Argentina.

Adicionalmente a ello, se coordinó la participación de equipos de especialistas que realizaron diversos estudios de carácter interdisciplinario (materiales, suelos, maquetas electrónicas, geoposicionamiento, nivelaciones y control de verticalidad de alta precisión, historia de la edificación, análisis numérico computacional, etc.). Ver Figura 2.

Posteriormente a la recolección de los datos de campo, se formularon diagnósticos y propuestas de intervención estructural destinados a la elaboración de una carta de riesgo global sobre la mayor parte de los edificios que conformaron la muestra [3] [4].

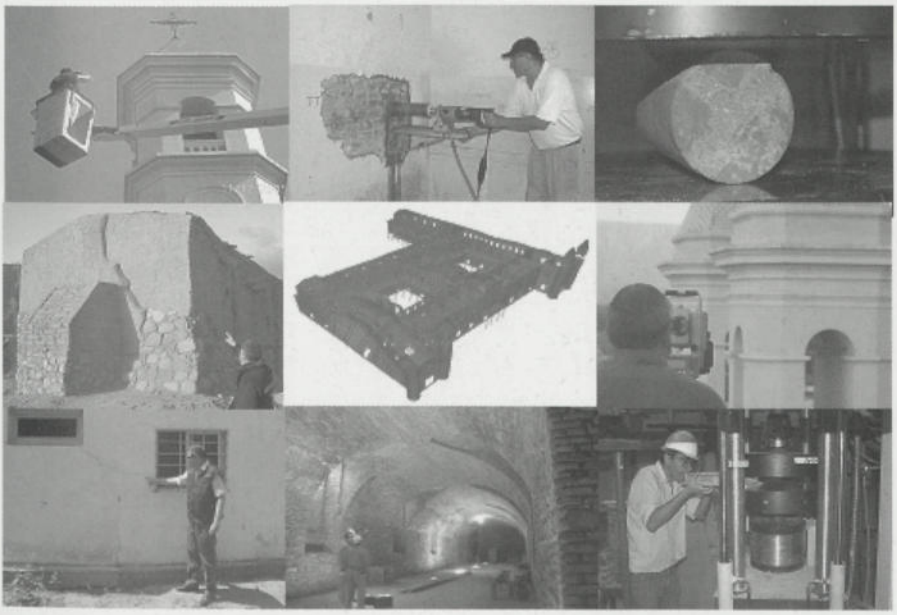


Figura 2: Se realizó un minucioso relevamiento estructural de cada edificio junto a estudios complementarios de carácter interdisciplinario.

3 Principales Daños Relevados

En gran número de cubiertas se observaron descalzamientos de los elementos portantes, desencastre en uniones y falla por aplastamiento o expulsión de mampuestos que les soportaban en forma directa. Ver Figura 3.



Figura 3: Principales daños en elementos estructurales de cubiertas.

En los muros de mampostería, se presentaron daños en encuentros entre muros y muros con cubierta. Se pudieron observar patrones de agrietamientos diagonales inclinados aproximadamente a 45° en el plano del muro y horizontales ocasionados por flexión fuera del plano del muro. Ver Figura 4.



Figura 4: Principales daños sísmicos en muros portantes.

Los arcos, dinteles y parapetos de mampostería resultaron severamente dañados por las acciones sísmicas, principalmente aquellos realizados con morteros débiles de cal y arena. Ver Figura 5.

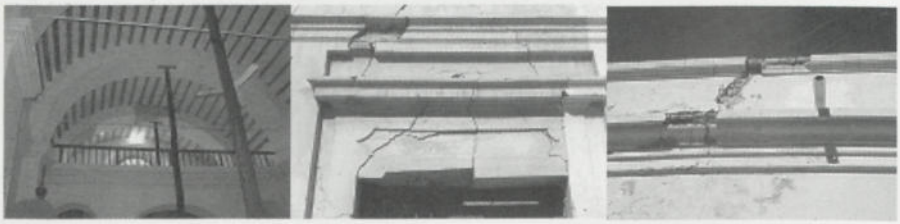


Figura 5: Daños Sísmicos en arcos, dinteles y parapetos.

En aquellos edificios que presentan cambios de rigidez en altura, se produjeron agrietamientos severos en dichos sectores, principalmente en los encuentros entre campanarios y naves de templos. Adicionalmente, se registraron agrietamientos en las bóvedas de cañón corrido de las naves de iglesias ocasionados por el cedimiento de los muros portantes que reciben su empuje lateral. Ver Figura 6.



Figura 6: Se registraron importantes agrietamientos en bóvedas, torres y campanarios

Finalmente, durante el relevamiento se pudo constatar que se registraron numerosos daños sobre elementos no estructurales, tales como rotura y/o caídas de cielorrasos, molduras, pináculos y balaustres, roturas de cristales y caída de imaginería en los templos. Ver Figura 7.



Figura 7: Caída de balaustres, rotura de cristales y caída de imágenes en templos.

4 Conclusiones

En este trabajo se presentan los resultados de una labor de relevamiento y caracterización de daños realizada durante tres años con posterioridad a la ocurrencia de un sismo de importancia en zona de actividad sísmica moderada.

En el 65 % de las edificaciones relevadas, se registraron daños moderados a severos. En un 10 % de ellos, se registraron colapsos parciales, lo cual indica la alta vulnerabilidad que poseen las construcciones de mampostería sin previsiones sismorresistentes. Si se tiene en cuenta que, éste tipo de construcción posee en la región analizada un significativo porcentaje, es posible extrapolar que la misma posee alta vulnerabilidad frente al peligro sísmico. Si bien el sismo y sus réplicas ocasionaron escasos colapsos estructurales parciales, debe

resaltarse que las acciones sísmicas de septiembre de 2004, no alcanzaron los niveles de demanda sísmica probables para la región.



Figura 8: Colapsos parciales registrados en Septiembre de 2004.

La elaboración y puesta en práctica de una guía técnica de evaluación, rehabilitación y refuerzo estructural frente a acciones sísmicas, contribuiría significativamente a morigerar la vulnerabilidad sísmica en la región.



Figura 9: Personal del Instituto de Estructuras "Ing. Guzmán" durante el relevamiento.

5 Bibliografía

[1] FEMA, *Evaluation of Earthquake damaged concrete and masonry wall building. Basic Procedure Manual*, 1999, pp. Washington D.C. EEUU.

[2] Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, *Manual de Construcción, Evaluación y Rehabilitación Sismo Resistente de Viviendas de Mampostería, 2001*. Colombia.

[3] Rodríguez, C.; et al. E. *Relevamiento y Evaluación del Estado de templos en la provincia de Catamarca.* VI Jornadas de Técnicas de Restauración y Conservación del Patrimonio, LEMIT, La Plata, Argentina. Septiembre 2007.

[4] Rodríguez, C.; et al. *Principales patologías estructurales en templos y monumentos históricos del noroeste argentino*. VIII Congreso Latinoamericano de Patología Estructural, Asunción del Paraguay, Paraguay, Septiembre 2005.

[5] Rodríguez, C.; et al "Evaluación Postsísmica de edificaciones de alto valor arquitectónico" El caso de la Catedral de Catamarca. XIX Jornadas de Ingeniería Estructural, Mar del Plata, Argentina. Octubre 2007.

REHABILITANDO EL SIGLO XX

Paloma Rubio de Hita[*]
palomarubio@us.es

Ángela Barrios Padura[†]
abarrios@us.es

Filomena Pérez Gálvez[‡]
fipergal@us.es

Carmen Rodríguez Liñán[§]
rlinan@us.es

Resumen

En esta comunicación pretendemos exponer la singularidad de la rehabilitación de edificios construidos en el siglo XX, en relación a las patologías más frecuentes en los elementos estructurales de hormigón armado.

El objetivo es poner en evidencia la relación de la existencia de problemas de durabilidad y habitabilidad en edificios con estructuras de hormigón armado con la no existencia de una normativa de obligado cumplimiento sobre dichos aspectos, y analizar la evolución normativa de la construcción con estructuras de hormigón en su relación con las patologías existentes de dos casos de edificios rehabilitados.

Palabras-clave: Durabilidad, Hormigón armado, Normativa.

1 Introducción

Nos encontramos con frecuencia ante edificios construidos en el siglo XX con una serie de lesiones graves en los elementos estructurales y constructivos y una necesidad urgente de ser reparados.

El siglo XX ha sido un periodo de Pruebas para los edificios construidos con estructuras de hormigón armado y envolventes delgadas, que sustituyeron a los tradicionales de fábrica portante y forjados de madera.

En el balance de este siglo vemos cómo en el caso de las estructuras de hormigón armado, la normativa ha evolucionado en paralelo a los problemas que iban surgiendo en la medida que se iba construyendo, pero en materia de durabilidad en ambientes agresivos la evolución ha sido lenta, lo que ha dado lugar a la necesidad de rehabilitación de edificios de menos de 30 años.

Para el análisis y exposición de la evolución de la normativa, nos apoyamos únicamente en dos casos prácticos, dada la necesidad de abreviar en la

[*] Profesora Titular de Universidad. ETSA Sevilla. palomarubio@us.es
[†] Profesora Titular de Universidad. ETSA Sevilla. abarrios@us.es
[‡] Profesora de Universidad. ETSA Sevilla. fipergal@us.es
[§] Catedrática de Universidad. ETSA Sevilla

ponencia, aunque disponemos de otros de similares características (hasta un total de 10) en nuestra base de datos.

1.1 Metodología

Sobre el análisis de la realidad construida y deteriorada de dos casos se estudian los daños existentes, sus causas, y las normativas de aplicación en España en el momento de su construcción.

Dos casos estudiados: Edificio Residencial Plurifamiliar en La Antilla, Huelva, Edificio de oficinas en Cádiz. (Ambos en ambiente marino)

2 Caso A) Edificio Residencial en Huelva

2.1 Características de la edificación

Es un edificio exento construido en 1988, de cinco plantas, veinte viviendas y una superficie construida de 1.362 m2, situado en una localidad costera.

La estructura es de pórticos de H.A., con vigas planas y forjados unidireccionales de viguetas pretensadas y de 23 cm. de canto. La cimentación es una losa de H.A. de 60 cm. de canto. Los cerramientos son de medio pie de ladrillo perforado con cámara y tabique de 25 cm. de espesor total, y la cubierta es una azotea a la andaluza.

2.2 Descripción de lesiones y daños

Se detectaron fisuras verticales en las esquinas de los pilares de planta baja, y desprendimientos de hormigón en los pilares circulares de las terrazas.

En el caso de los forjados, se detectaron fisuras coincidentes con la unión de la suela de las viguetas y las bovedillas, y otras en el encuentro de la vigueta con las jácenas planas. Se detectaron desplazamientos de las cabezas de las viguetas respecto del plano horizontal del forjado en su encuentro con la jácena plana de hasta 3 cm en el techo de la cocina de una de las viviendas de última Planta.

Se detectaron fisuras en paramentos de diversa tipología y dimensión, y filtraciones de agua en el techo de la última planta.

2.3 Causas de las lesiones

Las fisuras y los desprendimientos de hormigón de recubrimiento en elementos de hormigón armado, son consecuencia de la presión ejercida por el incremento de volumen del óxido generado en la corrosión de las armaduras.

El desencadenante de este fenómeno es la existencia de un recubrimiento de espesor inadecuado unido a la elevada porosidad del hormigón, en un ambiente marino donde se ubica el edificio.

También ha influido en la protección del hormigón a las armaduras y en la rapidez de carbonatación, la inadecuada puesta en obra, hecho constatado durante la obra por la aparición de coqueras en los pilares.

En segundo lugar, el problema de fisuración y descuelgue de las viguetas en su entrega en las vigas planas, es un problema de falta de continuidad en el apoyo indirecto, lo que hace que aumente la deformación por flecha de las mismas y el aumento de los momentos positivos en los vanos y en último lugar su desprendimiento.

Por otra parte, las deformaciones que se observan en determinadas vigas se producen como consecuencia de la falta de rigidez en relación a la luz y cargas sustentadas, con la consecuente deformación excesiva del citado elemento estructural que provoca fisuración en elementos de albañilería

También existen daños de este tipo que se producen por deformaciones debidas a dilataciones de elementos que están confinados entre ellos, como es el caso de las cubiertas, o bien por falta de trabazón entre paramentos.

Las filtraciones en cubierta tienen su origen en la ejecución incorrecta tanto de la impermeabilización, como de los puntos singulares de la misma.

2.4 Análisis de lesiones en relación a Normas de aplicación

En el caso de este edificio, cuyo proyecto y construcción es del inicio de 1988, la normativa de aplicación para el cálculo y dimensionado de la estructura era la Norma EHE 82 [1], y de los cerramientos y cubiertas las NTE. No existía una norma exclusiva de forjados unidireccionales, ya que ésta aparece un poco mas tarde en 1988 entrando en vigor al final de este año (EF 88).

El principal problema detectado es la falta de continuidad de las viguetas en su encuentro con las vigas planas del forjado. El caso mas simple de enlace es la prolongación de las viguetas en el interior de viga o elemento de atado, y cuando esto no es posible la mejor solución es disponer unas barras complementarias de anclaje con un macizado adicional de la zona eliminando las bovedillas [3]. Esta condición se expresa mas tarde en la EF 88 [4] "si los nervios se construyen in situ, la longitud l se conseguirá por prolongación de la armadura, o si los nervios están formados por viguetas, por entrega de la vigueta o por armadura pasiva adosada a cada vigueta y solapada con ella" ya es recogida por la literatura científica de la época en que se redactó el proyecto [5].

Por lo tanto, la literatura científica especializada sí establecía soluciones de ejecución correcta del encuentro, pero el hecho de no estar reglado por una normativa de obligado cumplimiento, como ocurrió mas tarde, hace que en la

práctica constructiva no se tenga en cuenta, ni en el proyecto ni en la ejecución de la obra, generando las importantes patologías detectadas.

El segundo problema es la corrosión de armaduras, en este caso la norma en vigor EHE 82 ya recogía en su Art. 13.3 que para cualquier armadura incluidos los estribos, la distancia a paramentos no sería menor a 15mm en paramentos revestidos y 20 mm en intemperie o en ambiente donde sean frecuentes condensaciones. No se establece un valor de recubrimiento mínimo para ambiente marino, dejándolo en manos del proyectista. Todo ello aparecerá en la posterior norma EH 88 [6]. En este caso, los elementos que presentan corrosión están situados expuestos al exterior y el recubrimiento medido sobre las armaduras es variable entre 1 y 3 cm., lo que pone en evidencia uno de los principios de durabilidad establecidos ya por la EHE 88 en su Art. 24.2 de Durabilidad del Hormigón y en el 24.3 de Corrosión de armaduras y en los comentarios del 24.4 sobre la importancia de espesor y calidad del recubrimiento, todo ello contenido en la literatura científica pero no normativa. Es decir, hay un incumplimiento de la normativa de aplicación, pero sobre todo se demuestra que en ambiente marino son más adecuadas las prescripciones recogidas más tarde en EHE 88: 40mm de recubrimiento mínimo.

3 Caso B) Edificio de Oficinas en Cádiz

3.1 Características de la edificación

Es un edificio que se construye al principio de los años 70, exento de planta rectangular, con cinco plantas, dos bajo rasante. Posee una estructura de hormigón armado visto que también hace las veces de envolvente.

La estructura del edificio es de gran rigidez, con pilares de gran sección dispuestos según una malla ortogonal de luces de 9,60 y 10,30 m. La estructura horizontal está realizada con forjado reticular de 40 cm. de canto.

3.2 Descripción de lesiones y daños

El daño más significativo es el causado en los elementos estructurales exteriores de hormigón visto con fisuración generalizada y desprendimientos de hormigón con corrosión de las armaduras en diferentes grados.

También aparecen fisuras en la cara inferior del forjado localizadas en el borde de la zona volada hacia el exterior que van creciendo en espesor a medida que se avanza hacia el borde de aberturas medidas entre 0,1 y 0,9 mm.

3.3 Estudios previos y ensayos

Se realizaron los siguientes ensayos:

- Extracción de probetas para comprobar mediante la aplicación de fenolftaleina el grado de carbonatación del hormigón del recubrimiento.

- Determinación de pérdida de sección en armadura, en los que se detectaron pérdidas hasta del 58% en pilares exteriores y del 1 al 36% en forjados.

- Ensayos mecánicos y fisicoquímicos recogidos en la Tabla 1:

- Testeo de todos los pilares mediante la técnica de ultrasonidos ofreciendo valores de Resistencia a compresión desde 25 a 36,7 N/mm2.

- Análisis estructural, incluyendo el efecto de la temperatura.

Tabla 1: Ensayos Mecánicos y fisicoquímicos

Muestras	3 (interior) (Pilar 9-SemiSótano)	4 (exterior) (Pilar 4-Baja)
Rotura a Compresión (MPa)	35,64	32,12
Densidad aparente (gr/cm3)	2,35	2,21
Porosidad (%)	9,8	14
pH	12,1	12,3
Cloruros (%)	0,014	0,014
Sulfatos (%)	0,32	0,45

3.4 Causas de las lesiones

La corrosión de las armaduras se produce como consecuencia de una alta porosidad del hormigón en algunos elementos unida a la diferencia de recubrimiento de la armadura en los mismos, en un ambiente marino agresivo y en una zona climática donde los vientos dominantes provocan una alta desecación durante la ejecución.

Del estudio estructural se dedujo que la estructura cumple de forma correcta los Estados Límite de Servicio según normativa vigente (Art.49 EHE 98 Estado Limite de Fisuración) [7], y que las fisuras en el forjado de planta baja detectadas eran las previsibles en el cálculo de la estructura y como consecuencia a deformaciones diferidas y por efecto de la temperatura.

3.5 Análisis de lesiones en relación a Normas de aplicación

La normativa de aplicación en el momento de redacción del proyecto era la norma EH 68.

El principal problema con que nos encontramos en este edificio es el de la corrosión de armaduras. En este caso la normativa en su Art.13 [8] establecía recubrimientos mínimos de 2cm. para las armaduras en estructuras no protegidas y en cualquier caso deja libertad al proyectista para aumentar el recubrimiento en ambientes agresivos, aunque no hace referencia ambientes marino, pero en algunos de su comentarios establece que "Debe tenerse en cuenta que

la mejor protección para las armaduras es un hormigón de buena resistencia y compacidad". Estas cualidades juegan un papel mucho más importante que el simple espesor del recubrimiento, por grande que éste sea. El hormigón en este caso no posee valores de resistencia bajos, pero si se detecta una porosidad muy variable desde valores bajos hasta valores límites (14%). Es decir existe un problema de falta de recubrimiento, agravado con un problema de calidad del hormigón por su porosidad, lo que facilita la corrosión acelerada en un ambiente marino. La bibliografía científica de referencia recoge las mismas consideraciones anteriormente señaladas respecto a los recubrimientos [9].

4 Conclusiones

Actualmente en la norma en vigor EHE 98 queda muy clara la influencia que tiene en la durabilidad de las estructuras de hormigón armado el recubrimiento de las armaduras, la calidad del hormigón y la puesta en obra. Todo ello considerando el ambiente en que se ubica el edificio.

Históricamente estos conceptos de durabilidad están esbozados en la literatura científica, pero no recogidos expresamente en las prescripciones de las normativas en vigor, apareciendo por primera vez explícitamente su carácter obligatorio en la EHE 88.

En el análisis y estudio de los casos aportados se pone en evidencia la presencia de patologías relacionadas con la durabilidad de las estructuras de hormigón armado en ambientes agresivos, y la incorrecta ejecución de entrega de forjados. Ambas patologías distintas en su origen pero relacionadas con la no existencia de prescripciones de carácter obligatorio que la hubiesen evitado.

También se constata que la literatura científica siempre va por delante de la normativa en estos y otros aspectos.

5 Bibliografía

[1] EH 82. MOPU. Madrid, 1982

[2] NTE: Estructuras. MOPU. Madrid, 1983

[3] Calavera, J. *Cálculo, Construcción y patología de forjados de Edificación*. 4ª edición. Intemac. Madrid, 1988

[4] EF 88. MOPU Madrid 1989

[5] Calavera, J. *Cálculo, Construcción y patología de forjados de Edificación* 3ª edición Intemac Madrid, 1986.

[6] EH 88. MOPU Madrid 1989

[7] EHE 98. Ministerio de Fomento. Madrid, 1999

[8] EH 68. MOPU. Madrid, 1969

[9] Jiménez Montoya P. *Hormigón armado*. Ed. G. G. Barcelona, 1970.

[10] EHE 08 Ministerio de Presidencia. Madrid, 2008.

ESTUDIO DIAGNÓSTICO DE LA IGLESIA DE SAN JOSÉ EN ELCHE

Grietas y Fisuras

Mª Francisca Céspedes López*
paqui.cespedes@ua.es

Raúl T. Mora García*
rtmg@ua.es

Silvia Spairani Berrio*
silvia.spairani@ua.es

Miguel Louis Cereceda†
miguel.louis@ua.es

Resumen

El presente artículo tiene por objeto exponer el estudio diagnóstico realizado en la Iglesia de San José en la ciudad de Elche (Alicante, España).

Dicha iglesia es un edificio declarado Bien de Interés Cultural, y formaba parte del convento franciscano donde actualmente se encuentra la Biblioteca Municipal. Comenzó a ejecutarse en el año 1561, por lo que su diseño estuvo influenciado por el final del renacimiento y el comienzo del barroco.

El estudio consta de un análisis histórico, arquitectónico y constructivo del edificio, así como de un proceso de diagnóstico en el cual se determinan las lesiones que presenta en la actualidad y sus causas. La toma de datos se ha realizado in situ mediante observación y realización de ensayos no destructivos.

Las lesiones analizadas han sido las grietas y fisuras más importantes existentes en las fachadas y en el interior de la nave.

Del estudio de las lesiones se concluye que la estabilidad de la estructura no está comprometida, y se considera necesario recuperar el relleno en los senos de las bóvedas

Palabras clave: Arquitectura, Patrimonio, Iglesia, Lesiones, Bóvedas vaídas.

1 Introducción

La iglesia de San José esta emplazada en la ciudad de Elche, provincia de Alicante, que forma parte de la Comunidad Valenciana, la cual se localiza en la parte más oriental de España.

Se sitúa al oeste del río Vinalopó, entre el puente de Santa Teresa y el puente de la Generalitat.

* Prof. Asociado. Dpto. de Construcciones Arquitectónicas. Universidad de Alicante.

† Prof. Catedrático de Universidad. Dpto. de Construcciones Arquitectónicas. Univ. de Alicante.

El convento de San José se erigió con el deseo de fomentar la fe católica y las obras fueron costeadas por los Excelentísimos Señores Duques de Maqueda. Se iniciaron en abril de 1561 y la iglesia se dio por finalizada en noviembre de 1562, pero continuaron con la construcción del convento [1].

En 1650 los Duques de Maqueda se plantearon realizar un nuevo convento a los religiosos, debido al mal estado del convento original que fue completamente derribado y vuelto a edificar en 1678, aunque se desconoce en que afectó a la iglesia. En junio de 1841 el convento fue destinado a Hospital y Casa de Beneficencia, pero antes de su puesta en funcionamiento se realizaron pequeñas obras para acondicionamiento del edificio [1].

En septiembre de 1897, queda constancia en las actas municipales que se reparó el tejado de San José, pero sin especificar el nivel de actuación [2]. En 1965 los dos arquitectos municipales hicieron un informe sobre los grandes daños causados en el convento por el viento huracanado, que azotó la población durante dos días. Según este informe la ruina era total, por lo que se desalojaron los enfermos y el edificio dejó de utilizarse como hospital.



Figura 1: Fachada principal de la Iglesia.



Figura 2: Iglesia y Biblioteca.

En 1978, el Ministerio de Cultura firmó un convenio para la construcción de la Biblioteca Municipal, sobre los restos del antiguo convento de San José. El proyecto se redactó dos años más tarde y transcurrió un año hasta el comienzo de las obras, terminándose en 1982.

Ese mismo año se redactaría un proyecto de restauración de la cubierta de la iglesia por la entonces Arquitecta Municipal Dña. Pilar Amorós [3].

La actuación consistía inicialmente en sustituir las tejas deterioradas para evitar la entrada de agua en la nave. Debido a filtraciones que tuvo la cubierta, el relleno de arena de los senos de las bóvedas ocasionó unas sobrecargas que podrían comprometer la estabilidad de la estructura, procediendo a retirarla. Además, la estructura sustentante de la cubierta fue sustituída debido a su gran deterioro.

El campanario de la espadaña corría riesgo de desplome hacia la calle, por lo que se estabilizó colocando varios tirantes anclados a unos muretes de hormigón realizados en el primer arco fajón de la nave.

En 1981 se declaró Bien de Interés Cultural con categoría de Monumento por Orden de 30/12/80. Desde 1987 hasta 1988, se llevó a cabo la restauración de la fachada por los arquitectos Juan José Estellés, Diego Maciá y Gaspar Jaén [3].

2 Descripción del edificio

El edificio está resuelto por una planta con forma de cruz latina, con una única nave central cubierta con bóvedas vaídas separadas por arcos fajones. Los contrafuertes de estos arcos quedan ocultos por capillas laterales de planta cuadrada cubiertas con bóvedas bizantinas rematadas con linternas.

La nave central se une a estas capillas mediante arcos formeros y las capillas quedan unidas entre sí y al transepto mediante arcos de medio punto. Las columnas de la nave central están decoradas por impostas en su base y cornisas a distinta altura.

Situado próximo al altar y adosado al segundo pilar entrando a mano izquierda existe un púlpito, al cual se accede mediante una grada lateral.

La nave está pavimentada con baldosa hidráulica en color blanco y negro formando un lienzo ajedrezado.



Figura 3: Nave central y presbiterio.



Figura 4: Nave central y el coro.

El transepto esta formado por una única nave central cubierto con bóvedas vaídas, decoradas con lunetos esféricos en los laterales y en el centro con pinturas al temple.

El crucero está cubierto por una bóveda vaída de mayor altura que el resto de la nave, rodeado de arcos formeros que delimitan su espacio (figura 3).

El presbiterio queda elevado del resto de la nave con tres peldaños, cubierto por una bóveda de cañón decorada con lunetos esféricos.

El coro se sitúa en alto, a la entrada del templo y cubierto con una bóveda de cañón con lunetos esféricos (figura 4).

El muro de la fachada principal, esta formado por un zócalo de sillería sobre la que se dispone una fábrica de tapia valenciana, en la que se puede observar la disposición de los ladrillos a soga.

3 Estudio de lesiones

La iglesia de San José presenta lesiones que pueden considerarse graves, como la existencia de grietas de gran espesor, rotura parcial de claves en los arcos fajones y fisuras en las bóvedas. Como lesiones de menor gravedad, no analizadas en este artículo, se detectó el vaciado parcial de juntas de mortero, elevados índices de humedad que han conllevado al desprendimiento de las pinturas, eflorescencias y alteración de elementos pétreos.

3.1 Grietas exteriores

Existe una grieta importante en la fachada oeste (figura 5) de trazado vertical que no afecta a todo el grueso del muro. Tiene espesor variable con mayor separación en la parte superior que en la inferior. Nace en el alero de la cubierta y muere en la escalera de acceso al coro.

El origen de esta lesión es debido al movimiento del campanario de la espadaña, que al desplomarse hacia la calle ocasionó esfuerzos de tracción al muro de tapia valenciana.

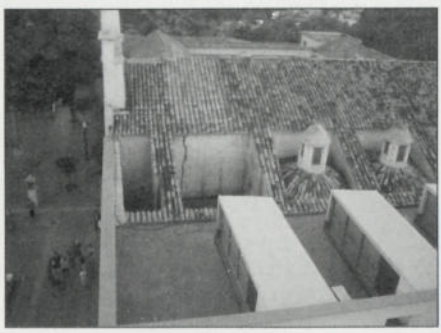


Figura 5: Grieta en muro Oeste.

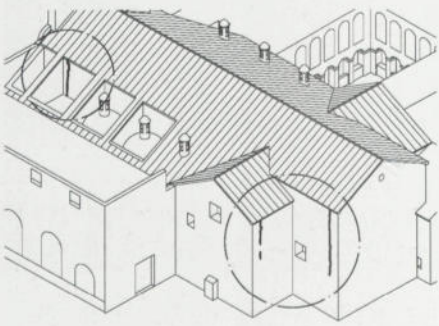


Figura 6: Grietas en muros Sur y Oeste.

Otras grietas se localizan en los muros perpendiculares a los hastiales, tanto del transepto derecho como del presbiterio (figura 6). Se aprecia como una abertura vertical pasante en el grueso del muro ya que por el interior se aprecian fisuras. Nacen en la parte inferior del alero y mueren a la mitad de la altura total del muro, con mayor espesor en la zona superior que en la inferior.

La causa de estas grietas se debe a la escasa o nula trabazón en los encuentros de los muros y a las variaciones de temperatura y humedad en los cerramientos, provocando contracciones y dilataciones.

3.2 Grietas interiores

En el primer arco fajón se localiza una grieta de espesor variable en toda la profundidad del arco (figuras 7 y 8). Se ha producido como consecuencia del refuerzo que estabiliza la espadaña, que consiste en dos muretes de hormigón armado que abrazan el arco. Este refuerzo ha añadido una sobrecarga no prevista inicialmente que ha tenido como consecuencia un descenso del arco y el acomodamiento del mismo.



Figura 7: Grieta en el arco fajón.

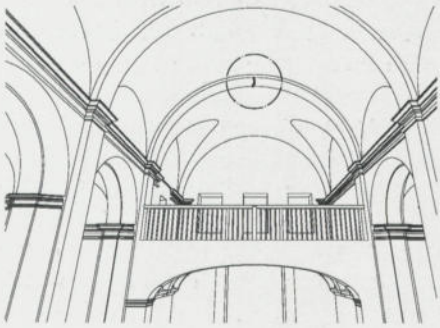


Figura 8: Localización de la grieta.

En las bóvedas se encuentran fisuras de dos tipos: las primeras se localizan en la unión entre el arco fajón y la propia bóveda y las segundas son fisuras ramificadas que nacen en el arranque de las bóvedas (figuras 9 y 10).

Las primeras se generaron por un descenso de las bóvedas a causa del incremento de peso que se produjo por las filtraciones que tuvo la cubierta, provocando el hinchamiento de la arena que rellenaba los senos.

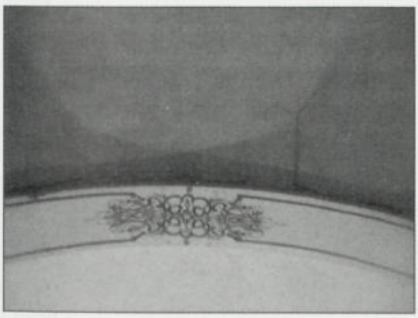


Figura 9: Fisuras en las bóvedas.

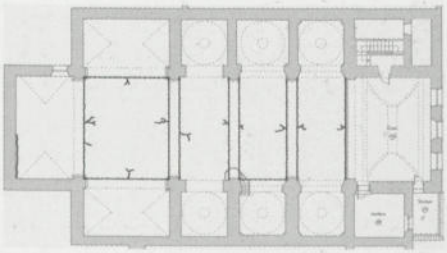


Figura 10: Localización de las fisuras.

Las segundas se formaron a raíz del vaciado del relleno anterior y por la no reposición del mismo, teniendo como resultado tracciones en el tercio inferior de la bóveda, no verticalizando ninguna carga los esfuerzos horizontales [4].

4 Conclusiones

Del estudio de las lesiones que afectan a los muros portantes se concluye que, aun existiendo grietas importantes, la estabilidad del edificio no está comprometida.

Debido al material de relleno existente en los senos de las bóvedas y a las filtraciones de agua por la cubierta, se ocasionaron sobrecargas no previstas que produjeron fisuras. Este hecho provocó que se extrajera el relleno de arena de los senos en la intervención de los años 80, elemento que servía para verticalizar los empujes.

Se considera necesario y urgente recuperar el relleno de los senos para volver al estado original de cargas con el fin de dar mayores prestaciones y garantías de seguridad estructural.

5 Agradecimientos

Al Grupo de Investigación en Restauración Arquitectónica de la Universidad de Alicante (GIRAUA-CICOP) por colaborar con los medios técnicos y humanos a su disposición.

6 Bibliografía

[1] Ramos Fernández, R. *Historia de Elche*. Alicante: Diario Información, 1989. 400 p.

[2] Ibarra Ruiz, P. *Índice de remisiones a cabildos y sitiadas*, tomo V. Elche: Biblioteca Pedro Ibarra. Desde el 1 de enero de 1871 hasta el 31 de diciembre de 1909.

[3] Jaén i Urban, G.; *et al. Guía de arquitectura de la provincia de Alicante*. Alicante: Instituto de Cultura Juan Gil-Albert, 1999. 311 p.

[4] Huerta Fernández, S. *Diseño estructural de arcos, bóvedas y cúpulas en España, ca.1500-ca.1800*. Doctorado, Universidad Politécnica de Madrid, 1990.

ESTUDIO HISTÓRICO Y CONSTRUCTIVO DE LA IGLESIA DEL SAGRADO CORAZÓN DE JESÚS EN ELCHE

Silvia Spairani Berrio*
silvia.spairani@ua.es

Mª Francisca Céspedes López*
paqui.cespedes@ua.es

Raúl T. Mora García*
rtmg@ua.es

Miguel Louis Cereceda†
miguel.louis@ua.es

Yolanda Spairani Berrio‡
yolanda.spairani@ua.es

José Antonio Huesca Tortosa*
ja.huesca@ua.es

Resumen

Este artículo contiene el estudio histórico y constructivo previo a una posible intervención en la Iglesia del Sagrado Corazón de Jesús en la ciudad de Elche (Alicante, España). Para ello se ha realizado una búsqueda bibliográfica sobre la edificación centrándose en su historia, materiales empleados, sistemas constructivos y reformas ocurridas en el tiempo. Se incluye una parte gráfica de las lesiones que afectan en la actualidad a la cúpula bizantina y del sistema constructivo empleado. De este artículo se deriva información importante para una futura intervención en la cúpula, puesto que se determinan las posibles causas por las cuales se han producido las lesiones.

Palabras clave: Arquitectura, Patrimonio, Iglesia, Lesiones, Cúpula bizantina.

1 Introducción histórica

En la ciudad de Elche, a mediados del siglo XX, se incrementó la inmigración y la mecanización de la industria del calzado. Este hecho originó un crecimiento del entramado urbano, pasándose de construcciones de planta baja y piso a edificios de más de siete alturas [1] aproximadamente en 20 años.

Los arquitectos Pérez Aracil, Serrano Peral y Francisco Muñoz [2] se encargaron de confeccionar en 1962, un Plan de Desarrollo Urbano que permitió el crecimiento de la ciudad, originando parte de la trama urbana existente a día de hoy.

* Prof. Asociado. Dpto. de Construcciones Arquitectónicas.Universidad de Alicante.
† Prof. Catedrático de Universidad. Dpto. de Constr. Arquitectónicas. Univ. de Alicante.
‡ Prof. Titular de Escuela Universitaria. Dpto. de Constr. Arquitectónicas. Univ. Alicante.

El proyecto y la ejecución de la Iglesia se materializaron bajo la supervisión del Arq. D. Antonio Serrano Peral, entre los años 1949-52 [3]. Se sitúa en la denominada plaza de España, ocupando el lugar de un antiguo mercado, fruto del cruce entre las calles José María Buck y Marqués de Asprillas, siendo de propiedad eclesiástica.

En el transcurso de los 56 años de vida del templo, éste ha sufrido diversas transformaciones para adaptarla a sus necesidades, destacando la modificación del altar según marcó el Concilio Vaticano II tras su construcción [4]. En 1986, la reparación y pintado del interior de la nave central incluída la cúpula del templo. En 1992, para solventar problemas de accesibilidad se realizaron rampas de acceso, pavimentación, iluminación interior-exterior y ubicación de mobiliario urbano exterior. En 1995, se eliminaron los púlpitos consagrados a ambos lados del altar, se situó el presbiterio a nivel intermedio entre la planta baja y el coro, se dispusieron dos puertas laterales para su acceso y se ejecutó un altar fijo de piedra, sostenido por columnas de mármol y bronce.

La Iglesia esta catalogada con un grado de protección ambiental, el cual salvaguarda el volumen, las cubiertas, las fachadas (composición, elementos y materiales) e interior, según Plan General de Ordenación Urbana de Elche que data de 1998.

2 Análisis arquitectónico y descripción constructiva

El Arquitecto desarrolló un tipo arquitectónico en forma de cruz griega y bóveda bizantina, al estilo de Santa Sofía. La precariedad económica de la época hizo que se construyera con medios materiales muy sencillos.

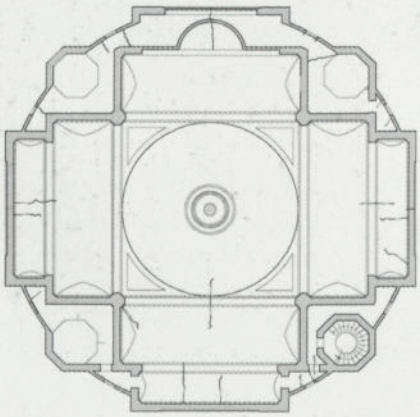


Figura 1: Planta cenital.



Figura 2: Sección vertical.

La planta está formada por una nave central y un transepto que intersecta en el punto medio para conformar el crucero de la iglesia. Se materializa así un

hipotético cuadrado sobre el que se levantan cuatro construcciones en forma de torres octogonales unidas por paredes intermedias (Figura 1).

La estructura de la edificación se ejecutó mediante mampostería y hormigón en la cimentación, mampostería y fábrica de ladrillo en los cerramientos, y resolviéndose las bóvedas de la nave con ladrillo tabicado [4]. La construcción de los muros se realizó para que únicamente trabajaran a compresión, limitándose la altura de los mismos para evitar los efectos del pandeo.



Figura 3: Ejecución arcos fajones [4].

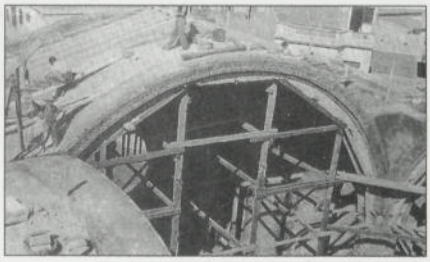


Figura 4: Cobertura de las bóvedas [4].

A continuación se ejecutaron los arcos fajones, mediante el empleo de cimbras de madera comenzando a levantarse por los arranques o salmeres (Figura 3). Para cubrir de la nave se recurrió a bóvedas de cañón corrido mediante la disposición de arcos de medio punto adosados unos a otros desplazando la cimbra (Figura 4).



Figura 5: Zunchado, base del tambor [4].

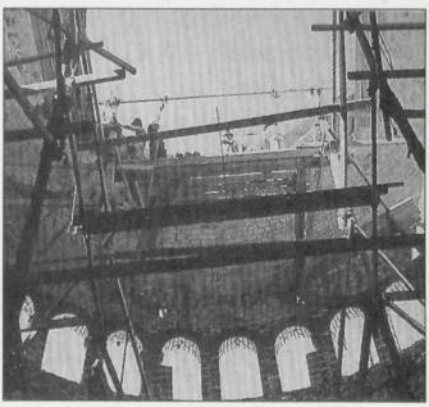


Figura 6: Construcción de la cúpula [4].

Una vez realizados los arcos fajones y bóvedas de cañón corrido, se procedió a la ejecución de las pechinas para poder pasar de una planta cuadrada a una circular, materializándose una cúpula bizantina rebajada en el crucero.

Con la finalidad de absorber el empuje horizontal de la cúpula, se construyó un anillo de hormigón armado (Figura 5) sobre los arcos torales, y sobre

éste se colocaron unas ventanas resueltas mediante arquillos de medio punto, para permitir la iluminación de la nave (Figura 6).

Para contrarrestar los empujes horizontales que transmiten los arcos de medio punto, bóvedas y cúpula central que conforman el cerramiento de la nave, se realizaron refuerzos de hormigón armado en el primer tercio inferior de la flecha, con lo que se trasladaron las cargas y los empujes que sobre ellos gravitaban a los apoyos, quedando las bóvedas tabicadas de ladrillo hueco como elemento estructural.

Durante el período de construcción tuvo lugar un derrumbe parcial de la iglesia, el 21/10/1949 [5], que afectó principalmente a la cúpula. Este colapso estructural conllevó a rehacer la construcción prácticamente desde el inicio.

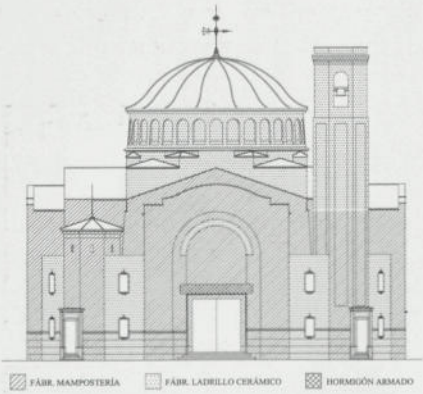


Figura 7: Alzado principal, materiales.



Figura 8: Fachada sur en ejecución [5].

La torre de mayor altura esta situada al Sur-Este de la planta, en cuyo interior existe una escalera de caracol que da acceso tanto a la planta coro como al campanario (Figuras 1 y 7). La escalera de caracol esta resuelta con una bóveda tabicada con un ojo central, petril de ladrillo, pasamanos de madera y peldaños prefabricados de cemento.

Las cubiertas del edificio se solucionan con terrazas planas en la torre campanario y las zonas entre los brazos de la cruz, mientras que las bóvedas de cañón corrido se resuelven con faldones a dos aguas.

En la figura 8 se puede apreciar el empleo de diferentes materiales durante la ejecución del edificio, como son fábrica de mampostería, fábrica de ladrillo cerámico y hormigón armado.

3 Estado actual de la cúpula bizantina del edificio

Se analizan estructuralmente las lesiones que tiene la cúpula, por ser el elemento que originó en su construcción las mayores dificultades de ejecución.

Se observan unas fisuras verticales que nacen en el tambor y llegan algunas de ellas a sobrepasar los arquillos que conforman los ventanales. Estas fisuras son consecuencia de los empujes horizontales de la cúpula, ya que el zuncho de hormigón que se ejecutó en la base del tambor para absorber los esfuerzos horizontales está mal resuelto, debido a que se colocó en el arranque del tambor en lugar de ejecutarse en el remate del mismo.

También se observa una fisura horizontal continua que circunda el perímetro en la base del tambor de la cúpula. Está originada por la diferencia de dilatación de los materiales que lo componen, hormigón y ladrillo (Figuras 5 y 6).

La componente horizontal de dichos empujes ha generando aberturas aparentemente ya paralizadas, tanto en la parte central de los paramentos laterales como en la parte posterior, justo donde los rosetones aligeran las fábricas. En la fachada principal, estos movimientos no se han producido puesto que el coro ha rigidizado ese paramento.

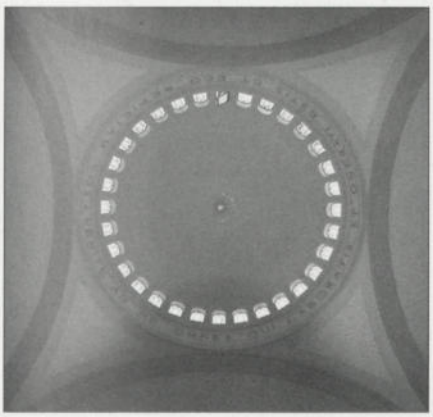


Figura 9: Vista cenital de la cúpula.

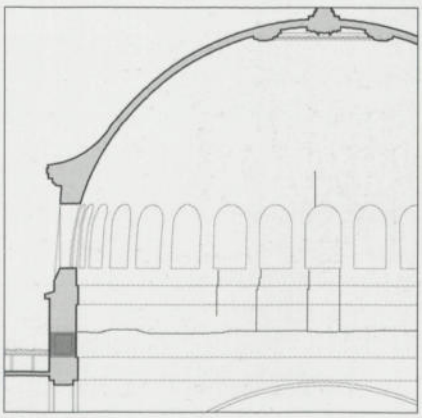


Figura 10: Sección de la cúpula.

Para comprobar la envergadura de las grietas producidas por los empujes se han realizado mediciones mediante el Ultrasonic tester E-46, siguiendo la metodología descrita por Facaoaru & Lugnani en 1993 [6]. Se realizaron medidas indirectas en los muros posteriores, tanto en el interno que separa la sacristía de la nave principal, como en el externo, al nivel de ubicación de los rosetones, con el objeto de comprobar si las grietas que presentan esos paramentos, son pasantes o sólo superficiales. Los resultados obtenidos denotan que las grietas son pasantes y cortan todo el paramento.

4 Conclusiones

Debido a la época de construcción, post-guerra española, se emplearon materiales de baja calidad, por lo que la resistencia de los mismos es deficiente.

Con muy buen criterio y conocimiento sobre el tema, se procedió a rellenar el primer tercio de los senos de las bóvedas de cañón corrido, ya que es la zona donde se ocasionarían tracciones de no existir el relleno

La estabilidad estructural de la cúpula no presenta riesgo de colapso, aunque existen movimientos por empujes por una desacertada solución constructiva, por la colocación incorrecta del zuncho de atado perimetral del tambor.

5 Agradecimientos

Al Grupo de Investigación en Restauración Arquitectónica de la Universidad de Alicante (GIRAUA-CICOP). La información aquí aportada es fruto de la investigación que realiza el grupo en una de sus líneas de trabajo.

6 Bibliografía

[1] Falcó Pérez, P.; Montenegro Ors, M. *Elx El Ciutadà*, tomo II. San Vicente: Artelibro, 1995.

[2] González Pérez, V. *La Ciudad de Elche*. Valencia: Departamento de Geografía (Universidad de Valencia), 1976.

[3] Jaén i Urban, G. *Guía de la Arquitectura y urbanismo de la ciudad de Elche*. Elche: Colegio oficial de Arquitectos de la comunidad Valenciana, 1984.

[4] Sin autor. *Parroquia Sagrado Corazón de Jesús 50 aniversario* (1952-2002). Elche: Parroquia Sagrado Corazón de Jesús, 2002.

[5] Falcó Pérez, P.; Montenegro Ors. M. *Elx La ciutat*, tomo I. San Vicente: Artelibro, 1994.

[6] Facaoaru, I.; Lugnani, C. Contributions to the diagnosis of stone and concrete historical structures using non-destructive techniques London; New York;: E & FN Spon, Vol. 1, 1993.



SESSÃO XXIII

SOLUÇÕES DE REABILITAÇÃO

REABILITAÇÃO DE UM EDIFÍCIO NA RUA DO JARDIM DO REGEDOR, N.º 27-35, LISBOA

Reabilitação Estrutural e Reforço Sísmico mantendo a Estrutura Original

Rui Pombo*
rui.pombo@a2p.pt

Pedro Ribeiro†
pedro.ribeiro@a2p.pt

João Appleton‡
joao.appleton@a2p.pt

Resumo

Refere-se o presente resumo à intervenção de reabilitação realizada num edifício localizado na Rua Jardim do Regedor, em Lisboa. O edifício apresentava feições tardo-pombalinas, nomeadamente no desenho das suas fachadas, no ritmo das janelas. Também na sua estrutura, marcada na periferia pelas paredes em alvenaria de pedra e no interior por arcos de alvenaria, sobre os quais surgem as paredes mestras em frontal, que constituem o suporte vertical dos pisos, sendo essenciais no travamento estrutural das paredes das fachadas. O projecto teve como objectivo adaptar o edifício para as futuras funções de hotel, munindo-o ainda da resistência estrutural necessária para garantir a segurança sísmica. Desde a fase de projecto que o objectivo foi de basear toda a intervenção numa lógica de manutenção das estruturas originais, reforçando sempre que necessário e repondo as estruturas alteradas e deturpadas ao longo dos tempos. Em fase de obra, constatou-se a degradação e alteração de parte das estruturas, em particular de elementos das paredes de frontal e de pavimentos, adulterados com revestimentos pesados e o apodrecimento da estrutura da cobertura. No entanto, conseguiu-se, com base numa intervenção cirúrgica, atingir o objectivo inicial de manutenção das estruturas originais. Tratou-se de um caso em que se mostra que é possível reabilitar o edificado e adaptá-lo às exigências do presente, respeitando a economia e o seu valor patrimonial.

Palavras-chave: Reabilitação, Edifício tardo-pombalino, Manutenção das estruturas originais, Segurança Sísmica, Intervenção Cirúrgica.

* Engenheiro Civil, A2P Consult – Estudos e Projectos, Lda.
† Engenheiro Civil, A2P Consult – Estudos e Projectos, Lda.
‡ Engenheiro Civil, A2P Consult – Estudos e Projectos, Lda.

BIBLIOTECA F.E. PORTO

1 Introdução

O edifício insere-se numa zona que correspondeu ao limite da cidade de Lisboa, a norte da Praça do Rossio, junto à Muralha Fernandina, até finais do séc. XVIII. De acordo com as plantas da cidade de Lisboa, desenhadas a partir do terramoto de 1755 e sucessivamente alteradas, à medida que a cidade se ia construindo e reconstruindo, verifica-se que este edifício não está assinalado na planta de Eugénio dos Santos e Carvalho, que corresponde à "Planta Topográfica da Cidade de Lisboa arruinada...", onde é representado o novo "Alinhamento dos Arquitectos Eugénio dos Santos e Carvalho e Carlos Mardel" [1]. Na planta da cidade e dos arredores urbanizados do último quartel do séc. XVIII (posterior a 1780), sensivelmente no local onde se localiza o edifício, encontra-se assinalado o "Pallacio da Inquizição", que se encontra assinalado também na planta de Duarte Fava, de 1807. Na planta Alemã de 1844 ainda não se encontra definido o quarteirão onde o edifício se insere. No entanto, na Planta de 1855 já se consegue identificar este quarteirão.

O edifício tem feições tardo-pombalinas, nomeadamente, no desenho das suas fachadas, no ritmo das janelas e, também na sua estrutura marcada na periferia pelas paredes de fachada e de empena, de alvenaria de pedra; no interior é de notar, ainda, a existência de arcos de alvenaria, sobre os quais surgem, na maioria dos casos, as paredes-mestras que recebem cargas dos pisos e que são essenciais no travamento estrutural, constituídas por paredes de frontal.



Figura 1: Fachada principal e de tardoz do edifício.

Tal como a maioria dos edifícios pombalinos, observam-se as deturpações e supressão das estruturas originais que ocorreram essencialmente nas primeiras décadas do séc. XIX, nomeadamente: a substituição de alguns dos arcos assinalados nos desenhos de levantamento que serviram de base ao projecto de estruturas por vigas metálicas; substituição de muitos frontais por tabiques de prancha ao alto que reduzem a capacidade resistente do edifício, especialmente à acção sísmica; substituição da solução em abóbadas, que normalmente existe ao nível do tecto do piso térreo, por um pavimento constituído por vigamentos de madeira; introdução de betonilhas sobre os pavimentos, aumentando consideravelmente o nível de cargas permanentes nestas estruturas.

No entanto, apesar das alterações que este edifício sofreu ao longo dos tempos, está-se perante um edifício que ainda aparenta grande influência da cidade nova, desejada por Sebastião Carvalho e Melo, idealizada por Manuel da Maia e desenhada por Eugénio dos Santos e Carlos Mardel.

De acordo com a arquitectura proposta, haveria lugar à execução de pequenas alterações estruturais, mantendo-se a localização e continuidade das paredes mestras. Ao nível das paredes secundárias, constituídas por paredes de tabique, seriam em alguns casos demolidas e reconstruídas como paredes de frontal de modo a permitir o conveniente contraventamento das paredes de alvenaria das fachadas. Ao nível dos pavimentos, caso o seu estado de conservação o permitisse, seriam na generalidade mantidos à excepção do tecto do piso térreo (piso 1), constituído por vigamentos de madeira que seria substituído por uma solução mais rígida e menos vulnerável à humidade, constituída por uma laje mista aço-betão com cofragem metálica nervurada colaborante, apoiada em perfis metálicos.

2 Estado de Conservação

Apesar de todas as transformações observáveis ou pressentidas em fase de projecto, foi verificada a preservação de um conjunto muito relevante de sinais que evidenciam as características construtivas pombalinas do edifício, elementos que são olhados cada vez com maior cuidado e respeito.

Antes da intervenção, ao nível do piso térreo era ainda observável a característica existência de arcos em alvenaria de pedra. A localização destas estruturas e das paredes em alvenaria ao nível do piso 0 marcam a disposição das paredes interiores dos pisos elevados que vão sofrendo algumas alterações mas sempre condicionadas pelo piso 0.

As paredes de alvenaria nas fachadas e empenas não tinham sofrido alterações significativas; as estruturas interiores dominantes são as paredes de frontal tecido, caracterizadas pelas cruzes de Santo André que complementam prumos e travessanhos de madeira, e as paredes de tabique constituídas por tábuas ao alto e fasquiado de suporte do reboco. Os pavimentos, naturalmente, de madeira, apresentavam secções transversais aproximadas de 0,14×0,14 m, afastadas de 0,40 m.

É de notar que antes da intervenção observava-se a existência de zonas em que as paredes e pavimentos se encontravam bastante afectados por infiltrações que tinham levado a desprendimentos e desagregações generalizadas dos revestimentos de tectos e paredes.

Como já foi referido este edifício corresponde a uma fase em que alguns dos alinhamentos de paredes de frontal tecido tinham sido substituídos por paredes de tabique que possuem uma capacidade estrutural muito limitada em termos de acções horizontais.

Apesar do razoável estado geral da conservação do edifício, registam-se anomalias associadas a infiltrações generalizadas. A tal não será alheio o facto de o edifício ter possuído ao nível do piso 4 uma residencial que foi alvo de uma intervenção bastante desajustada para este tipo de edifício, que consistiu na introdução de novas instalações sanitárias e de uma betonilha sobre os vigamentos existentes; estes factos associados às lavagens constantes dos pavimentos tinham conduzido a

um estado avançado de degradação de todos os elementos de madeira ao nível do piso 3.

Da análise das características e do estado de conservação das estruturas existentes pôde concluir-se pela viabilidade da preservação de uma parte considerável da construção.

3 Solução Estrutural

A solução estrutural baseou-se numa lógica de conduzir a intervenção através da manutenção das estruturas existentes, sempre que possível, e na reconstrução com soluções leves à base de materiais como a madeira e o aço, e lajes mistas de betão e aço. Pretendia-se pois intervir de forma cuidada e selectiva, mantendo sempre que possível as estruturas existentes.

Soluções deste tipo, passavam pela garantia de preservação das paredes exteriores de alvenaria e por alinhamentos estrategicamente escolhidos reservados para as paredes de frontal tecido, existentes ou a reconstruir como tal.

Associados às paredes de frontal adoptaram-se pavimentos de madeira ou metálicos, recuperando os existentes quando tal fosse viável ou executando novos pisos com estruturas daqueles materiais onde a reconstrução se impunha. Nos casos em que houve necessidade de tirar partido estrutural das paredes de tabique existentes previu-se o seu reforço através de um reboco armado ou através da sua substituição por paredes de frontal tecido. Os troços de parede com funções estruturais e que não possuíam continuidade ao nível dos pisos inferiores foram apoiados sobre perfis metálicos HEB160 ou HEB220.

Ao nível do piso 1, os arcos que tinham sido substituídos por vigas metálicas de forma "I" ou "U", as quais foram reforçadas com estruturas metálicas (vigas do tipo HEB100 e pilares do tipo CHS 193,7 × 6,3 mm), nos casos em que não asseguravam a resistência necessária para as cargas que as paredes de frontal teriam de suportar ao longo da sua vida.

As soluções estruturais adoptadas possibilitaram fazer a reabilitação estrutural do edifício sem grandes intervenções de reforço, porque se mantiveram quase inalteradas as cargas totais nos elementos estruturais e respectivas fundações.

De facto, verifica-se que neste tipo de edifícios, desde que se garanta uma distribuição homogénea das paredes interiores resistentes, e desde que se assegure uma eficaz ligação entre paredes exteriores, entre estas e as paredes interiores resistentes e entre todas as paredes e os pavimentos que elas suportam, é possível dispor de uma estrutura eficiente que garanta a resistência às cargas verticais decorrentes dos pesos próprios e das sobrecargas de utilização e a forças horizontais, em particular, de sismos [2].

Para isso bastará escolher uma correcta distribuição de paredes interiores dotadas de estruturas de madeira robustas e executar um conjunto de trabalhos, de reforço de ligações, que incluirão pregagens e cintagens.

No que concerne aos pavimentos, os elementos de madeira existentes apresentavam degradações localizadas que obrigavam à substituição e reposição de algumas vigas (com secções similares, na maioria das situações, com secções transversais de 0,14 × 0,14 m). Esta solução verifica a segurança para vãos inferiores a 3,50

m. No caso dos vigamentos possuírem vãos superiores foi prevista uma solução de reforço através da introdução de vigas novas de 0,10 × 0,20 m entre as vigas existentes. Apenas em zonas muito localizadas é que a Arquitectura previa a demolição dos pavimentos existentes (junto aos núcleos da nova escada e dos elevadores). Para novos pavimentos adoptaram-se vigamentos de madeira de secções de 0,08 x 0,16 m, afastados de 0,40 m, que são admissíveis para vãos até 3,50 m.

Ao nível dos pisos foram colocadas, em alguns locais, cantoneiras metálicas LNP150×100×10 mm, que permitem realizar o apoio dos novos vigamentos e uma ligação eficaz dos vigamentos existentes às paredes de alvenaria. Os vigamentos foram ligados às cantoneiras por intermédio de chapas e parafusos, sendo estas ligadas às paredes de alvenaria por intermédio de varões roscados de aço de alta resistência (classe 8.8). Além disso, as cantoneiras permitiram criar também uma cintagem entre panos de alvenaria perpendiculares, melhorando o comportamento da estrutura à acção sísmica, não só pela amarração entre as paredes de alvenaria, como ainda por constituírem um tirante que controla a abertura de fendas verticais ao longo das paredes.

As paredes de alvenaria ao nível do piso térreo foram reforçadas com uma lâmina de betão armado com 0,06 m de espessura. Ao nível dos pisos superiores foi também previsto o reforço das paredes com o mesmo tipo de lâminas ou através da aplicação de uma camada de reboco armado com 0,03 m, em zonas sujeitas a esforços mais concentrados, nomeadamente junto ao núcleo de elevadores, núcleos de escadas (metálica nova e existente a manter) e numa faixa intermédia entre as cantoneiras e as paredes de alvenaria da periferia, ao nível dos pisos.

Nas zonas de cozinhas e casas de banho foram executadas impermeabilizações contínuas compostas por painéis de "Viroc" e telas definidas pela arquitectura.



Figura 2: Reabilitação de frontais e reforço de pavimentos.

As paredes de frontal existentes foram alvo de uma inspecção cuidada depois de removido o reboco de cal existente. As secções que se encontravam deterioradas foram substituídas por secções equivalentes de madeira. As alterações previstas relacionadas com a abertura de vãos foram realizadas tendo em conta os módulos da estrutura de madeira existentes; em fase de obra foi previsto o acerto na sua localização de acordo com esquema incluído nas peças desenhadas. Os vãos nas paredes de frontal com grandes dimensões foram reforçados com perfis metálicos UNP. O preenchimento de vãos e construção de novos alinhamentos de parede de frontal seguiram a tipologia estrutural existente. O preenchimento foi realizado

com alvenaria de tijolo. As novas paredes interiores divisórias que não têm qualquer função estrutural foram realizadas com estruturas leves.

Em relação às paredes de alvenaria, as intervenções previstas estão relacionadas com pequenas consolidações e com as alterações propostas de abertura de alguns vãos e preenchimento de outros através de alvenaria de pedra irregular executada a taipal de modo a restabelecer algumas continuidades. A abertura de vãos foi na generalidade reforçada através de um anel de betão armado com 0,20 m de espessura.

Ao nível do piso 1 foi prevista a substituição dos pavimentos constituídos por vigas de madeira por uma laje mista constituída por uma lâmina de betão com 0,10 m de espessura apoiada sobre uma chapa de cofragem colaborante e perfis metálicos HEB120. A esta cota existe um terraço exterior onde se prevê a substituição da laje existente, constituída por uma solução mista de perfis metálicos e abobadilhas cerâmicas, por uma laje mista constituída por uma lâmina de betão com 0,12 m de espessura apoiada sobre uma chapa de cofragem colaborante e perfis metálicos HEB160. A demolição da laje exterior está associada à demolição de um troço de parede que lhe servia de apoio, aumentando o seu vão livre. Por outro lado, o estado de conservação das vigas, com sinais evidentes e graves de corrosão, não permitia a manutenção dessas estruturas (consequência natural do facto de se tratar de um pavimento horizontal no exterior, sujeito à acção da água durante anos).

O núcleo de escada era na generalidade para manter, o que implicava a realização de uma inspecção cuidada a toda a estrutura das escadas e das paredes periféricas que lhe serviam de suporte, depois de removido o reboco e algumas zonas do revestimento de piso, nomeadamente junto às entregas das vigas. Os alinhamentos de paredes de tabique que serviam de suporte à escada foram reforçados com lâminas de reboco armado com 0,03 m de espessura, aumentando significativamente a sua resistência quer às acções verticais como também às horizontais.

4 Conclusões

Actualmente a obra encontra-se em fase de acabamentos, estando toda a intervenção estrutural de reabilitação e reforço concluída. Constata-se que é possível manter grande parte das estruturas existentes, tirando partido das vantagens económicas e ambientais disso mesmo, respondendo às exigências funcionais para um novo hotel e munindo o edifício de resistência sísmica.

5 Bibliografia

[1] Vieira da Silva, Augusto – Plantas Topográficas de Lisboa, Lisboa; Oficinas Gráficas da CML, 1950.

[2] Appleton, João, *Reabilitação de Edifícios antigos,* Lisboa: Orion,2003.

DETERIORAÇÃO DO GRANITO NA IGREJA DE NOSSA SENHORA DA LAPA NO PORTO

Arlindo Begonha*
abegonha@fe.up.pt

Resumo

As deteriorações da pedra da Igreja de Nossa Senhora da Lapa resultam essencialmente da cristalização de minerais de sais solúveis na rede porosa do granito do Porto meteorizado. O processo de meteorização conduziu à formação de uma rede porosa de tipo fissural muito bem interligada que possibilita a transferência rápida de soluções salinas por capilaridade a partir do solo ou da chuva e também fortes fluxos de evaporação. A desagregação granular e os filmes negros são os dois tipos de deteriorações mais importantes. Os factores responsáveis pelo avançado estado de deterioração da pedra no monumento são: a proximidade do Oceano Atlântico, associada às condições de elevada precipitação, elevada humidade relativa do ar e forte ventilação do local; os elevados índices de poluição do ar na cidade do Porto; a acumulação de dejectos de pombos nas cornijas da fachada.

A desagregação granular, placas, plaquetas e crostas negras resultam da cristalização de minerais de sais solúveis no interior da rede porosa do granito do Porto, designadamente a halite, gesso, brushite e nitratite. Os filmes negros resultam da acumulação na superfície das pedras de numerosas partículas de composições diversas, na sua maioria constituídas por compostos de carbono associados à poluição do ar.

Palavras-chave: Granito, Pedra, Deterioração, Minerais de sais solúveis.

1 Introdução

A Igreja de Nossa Senhora da Lapa foi construída com granito do Porto. Begonha [1] classifica esta rocha como um granito de duas micas, de grão médio, com textura hipidiomórfica granular, por vezes com tendência porfiróide. Apresenta cor cinzenta clara e aspecto muito homogéneo. É constituído por quartzo, microclina (composição média 92,8% Or – 5,7% Ab – 1,5% An), albite (composição média 0,7% Or – 90,3% Ab – 9,0% An), moscovite e biotite, tendo como minerais acessórios o zircão, a apatite, a silimanite (fibrolite) e a monazite.

* Professor Auxiliar da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Num estudo geocronológico U-Pb sobre fracções de monazite e de zircão, Almeida [2] obteve uma idade mínima 318 Ma para a instalação do granito do Porto, correspondendo a uma idade Namuriana Superior a Vestefaliana Inferior.

As pedras de granito do Porto empregues na Igreja da Lapa exibem presentemente estados de deterioração muito avançados em muitas áreas da fachada principal. A desagregação granular (Figura 1a) e os filmes negros (Figura 1b) são as deteriorações mais importantes, afectando grande número de pedras desde o rés-do-chão às torres. Observam-se ainda pedras que exibem crostas negras (Figura 1c), placas (Figura 1d), plaquetas e colonização biológica. A actividade biológica é pouco intensa no rés-do-chão devido aos elevados índices de poluição atmosférica, verificando-se a ausência de líquenes. Sobre as cornijas e áreas horizontais, há grande quantidade de dejectos de pombos.



a) Desagregação granular



b) Filme negro



c) Crosta negra



d) Placa

Figura 1: Aspectos macroscópicos de deteriorações da pedra.

2 Materiais e métodos

Recolheram-se 18 amostras de deteriorações (8 de desagregação granular, 2 de placas, 2 de plaquetas afectadas por desagregação granular, 1 de crostas negras, 3 de filmes negros e 2 de fragmentos de pedras de cornijas que haviam caído e se encontravam guardadas no interior da igreja).

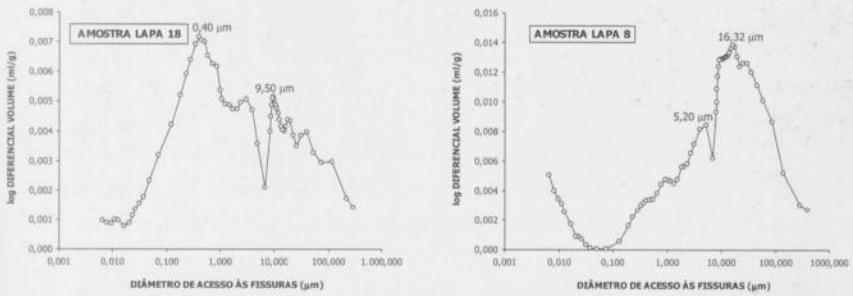
Nos estudos de identificação dos minerais constituintes do granito do Porto utilizado no monumento e dos minerais de sais solúveis presentes nas deteriorações da pedra, utilizou-se a microscopia electrónica de varrimento (MEV/EDS). Na caracterização da porometria do granito do Porto, foi empregue a técnica do porosímetro de mercúrio. Nas observações por MEV recorreu-se a um microscópio modelo Jeol JSM-6301F, equipado com microanálise por raios-X (EDS). A porometria do granito foi determinada com um porosímetro de mercúrio Poresizer 9320 da Micromeritics que opera numa gama de pressões entre 0,5 psia e 30000 psia, permitindo a intrusão de mercúrio em poros de diâmetro entre 360 μm e 60 Å.

3 Resultados

A Tabela 1 e a Figura 2 apresentam os resultados obtidos com o porosímetro de mercúrio em que N_{Hg} é a porosidade total ao mercúrio, N_{μ} é a microporosidade (fissuras com abertura $\leq 7{,}5$ µm), N_M é a macroporosidade (fissuras > 7,5 µm) e d_a a abertura das famílias de fissuras.

Tabela 1: Resultados obtidos com o porosímetro de mercúrio.

AMOSTRAS	d_a (µm)	N_{Hg} (%)	N_M (%)	N_{μ} (%)	$100 \times N_{\mu}/N_{Hg}$ (%)
LAPA 18	0,40	4,27	1,28	2,99	70
	9,50				
LAPA 17	1,17	5,18	1,92	3,26	63
	9,96				
LAPA 8	16,32	6,11	3,60	2,51	41
	5,20				



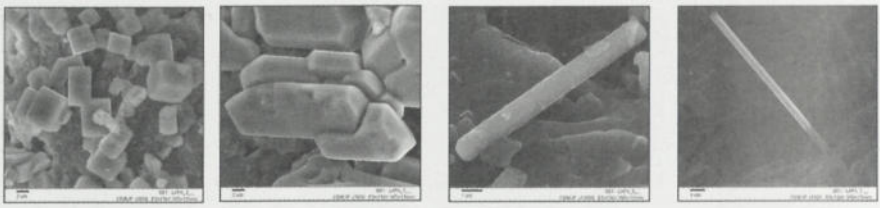
a)Amostra LAPA 18 b) Amostra LAPA 8

Figura 2: Distribuição dos diâmetros de acesso às fissuras.

A Tabela 2 e a Figura 3 mostram os minerais de sais solúveis identificados por MEV/EDS nas diversas deteriorações.

Tabela 2: Minerais de sais solúveis identificados por MEV/EDS.

Localização	Deterioração	Minerais de sais solúveis
Fachada principal	Desagregação granular	Halite + gesso + brushite ± nitratite ± calcite
		Gesso + halite + brushite ± nitratite
		Gesso + brushite + calcite
	Placas	Gesso + calcite + brushite
	Plaquetas afectadas por desagregação granular	Gesso + halite + brushite + calcite
		Gesso + nitratite + halite
	Filmes negros	Não se identificou qualquer mineral de sal solúvel
		Gesso raro
	Crostas negras	Gesso



a) LAPA 2 - Halite b) LAPA 7 - Gesso c) LAPA 5 - Brushite d) LAPA 7 - Nitratite

Figura 3: Imagens de minerais de sais solúveis obtidas por MEV/EDS.

4 Discussão

A presença de gibsite e de caulinite, minerais de elevado grau de meteorização identificados por MEV/EDS, bem como os valores da porosidade total ao mercúrio (4,27% a 6,11%) nas amostras recolhidas na Igreja de Nossa Senhora da Lapa mostram que as pedras de granito do Porto utilizadas na construção do monumento têm, em muitos casos, elevados graus de meteorização. O processo de meteorização conduziu à formação de uma rede porosa bimodal muito bem interligada, possibilitando a transferência por capilaridade rápida e eficaz de soluções salinas a partir do solo, da chuva, das superfícies superiores das cornijas e das juntas abertas por onde percola a água da chuva, permitindo igualmente fortes fluxos de evaporação, como aliás é referido em diversos trabalhos realizados em pedras de monumentos construídos com o granito do Porto [1, 3] e em pedras de outros monumentos graníticos do Norte de Portugal continental [4-6].

O processo de deterioração da pedra traduziu-se num aumento da porosidade, diminuição percentual da microporosidade (63% a 70% de NHg no granito não deteriorado e 41 % no granito deteriorado) e, ainda, num aumento das aberturas das fissuras (0,40 – 1,17 $\geq$ m na família principal do granito não deteriorado; 16,32 $\geq$ m no granito muito deteriorado).

A maior parte das deteriorações da pedra tem origem na cristalização de minerais de sais solúveis no interior da rede porosa do granito do Porto. A penetração, transferência capilar e evaporação das soluções salinas provenientes do solo e das águas da chuva, bem como as variações do teor de humidade do ar, importantes na cidade do Porto devido à proximidade do Oceano Atlântico e do Rio Douro, conduzem a ciclos alternados de cristalização e dissolução/deliquescência total ou parcial dos minerais de maior solubilidade e/ou higroscopicidade, desenvolvendo-se forças de cristalização que originam, a desagregação granular e a formação de plaquetas e de placas. Os minerais de sais solúveis não reagem portanto quimicamente com os minerais constituintes do granito. A sua acção é mecânica. Os ciclos alternados de cristalização e dissolução/deliquescência dos minerais de sais solúveis devem ser a causa das figuras de dissolução da maior parte dos cristais de minerais

de sais solúveis, incluindo os minerais com menor solubilidade como a calcite, o gesso e a brushite e dos "véus" muito finos da halite.

No rés-do-chão da Igreja de Nossa Senhora da Lapa, o fenómeno da ascensão por capilaridade de soluções salinas a partir do solo é a principal causa de deterioração da pedra, originando forte desagregação granular nas pedras de granito do Porto, bem como a formação de plaquetas e de placas. No entanto, têm papel igualmente importante a água da chuva que penetra directamente nas pedras por capilaridade e as escorrências das águas das chuvas a partir das juntas abertas na cornija de grande largura que separa o rés-do-chão do primeiro andar da fachada principal. A lixiviação dos dejectos dos pombos pela chuva modifica a composição química da mesma, enriquecendo-a sobretudo em fosfatos e nitratos.

A poluição da ar no Porto está na origem da formação dos filmes negros que revestem elevado número de pedras na Igreja da Lapa e com composição idêntica aos da Suécia e Polónia [7, 8] e do Porto [1, 9]. As águas da chuva do Porto, ricas nos iões cálcio e sulfato e em cinzas volantes porosas de natureza carbonosa, são a fonte do gesso e das cinzas volantes que constituem as crostas negras.

A presença de calcite pode advir da reacção/lexiviação das argamassas (de cimento Portland ou mesmo de cal) por parte das águas da chuva ou, eventualmente, da própria composição das mesmas águas.

A cotas mais elevadas na fachada principal, a halite e o gesso cristalizam na rede porosa do material pétreo. A sua origem principal é a água da chuva.

5 Conclusões

As deteriorações da pedra na Igreja de Nossa Senhora da Lapa resultam essencialmente da cristalização de minerais de sais solúveis na rede porosa do granito do Porto meteorizado. O processo de meteorização conduziu à formação de uma rede porosa de tipo fissural muito bem interligada que possibilita não só a rápida e eficaz transferência de soluções salinas por capilaridade a partir do solo ou da chuva, mas também a fortes fluxos de evaporação dessas soluções.

A desagregação granular e os filmes negros são os dois tipos de deteriorações mais importantes na Igreja de Nossa Senhora da Lapa.

Os factores responsáveis pelo avançado estado de deterioração da pedra no monumento são: a proximidade do Oceano Atlântico e do Rio Douro, associadas às condições de elevada precipitação, elevada humidade relativa do ar e forte ventilação do local; os elevados índices de poluição do ar na cidade do Porto; a permanência e acumulação de dejectos de pombos nas cornijas da fachada.

A halite, presente nas pedras afectadas por desagregação granular e plaquetas, tem como principal origem a água da chuva devido à proximidade do Atlântico. O gesso, identificado em amostras de desagregação granular, plaquetas, placas e crostas negras, está associado à água da chuva contaminada pelos elevados índices de poluição do ar na cidade do Porto. A brushite e a nitratite presentes nas pedras que

exibem desagregação granular, plaquetas e placas têm origem na lixiviação, pela água da chuva, dos dejectos de pombos acumulados nas cornijas da fachada.

Os filmes negros resultam da acumulação na superfície das pedras de granito do Porto de numerosas partículas de composições muito diversas, na sua grande maioria constituídas por compostos de carbono associados à poluição do ar.

Nas zonas mais altas da fachada, as mesmas condições geográficas e climáticas e a diminuição dos índices de poluição atmosférica favorecem o desenvolvimento de seres vivos nas pedras, particularmente de diversos tipos de líquenes. No rés-do-chão da fachada, os elevados índices de poluição do ar que aí se registam impedem o desenvolvimento dos mesmos.

6 Bibliografia

[1] Begonha, A. *Meteorização do granito e deterioração da pedra em monumentos e edifícios da cidade do Porto*. Porto: FEUP-Edições, 2001.

[2] Almeida, A. Geochemical and geochronological characterization of the syntectonic two-mica granite of Porto (NW Portugal). *Proc. III^{er} Congreso Ibérico de Geoquímica y VIII^{o} Congreso de Geoquímica de España*: 2001, pp. 311–315.

[3] Moutinho, A.M. *Estudo da Deterioração da Pedra da Igreja de Santa Maria de Leça do Mosteiro de Leça do Balio – Contributo para o ensino das geociências*. Dissertação de Mestrado, Univ. Porto, 2005.

[4] Alves, C. *Estudo da deterioração de materiais graníticos aplicados em monumentos da cidade de Braga (Norte de Portugal). Implicações na conservação do Património Construído*. Dissertação de Doutoramento, Univ. Minho, 1997.

[5] Fojo, A. *Estudo da Aplicação de Consolidantes e Hidrófugos em Pedras Graníticas da Igreja Matriz de Caminha*. Dissertação de Mestrado, Univ. Porto, 2006.

[6] Costa Leite, A.L. *Estudo da deterioração da pedra na Igreja de Santa Clara em Vila do Conde – Proposta de tratamento*. Dissertação de Mestrado Univ. Porto, 2008.

[7] Nord, A.G., Tronner, *K. Stone weathering - air pollution effects evidenced by chemical analysis*. Stockholm: Konserverings Tekniska Studier RIK 4, Riksantikvarieambetet och Statens Historiska Museer, 1991.

[8] Nord, A.G., Ericsson, T. Chemical analysis of the black layers on building stone. *Studies in Conservation, vol. 38, N^{o}. 1*, 1993, pp. 25-35.

[9] Begonha, A., Sequeira Braga, M.A. Characterization of black crusts and thin black layers in granitic monuments: the role of air pollution. *Proc. European Commis. Workshop Degrad. Conserv. Granitic Rocks in Monuments-Santiago de Compostela 1994, Protection and Conserv. of European Cult. Heritage, Research Rep. N^{o}. 5*, 1996: pp.121–126.

DO DIAGNÓSTICO À INTERVENÇÃO DE CONSERVAÇÃO EM PEDRA GRANÍTICA

O Caso da Igreja dos Terceiros da Ordem de São Francisco (Porto)

Bruna Pereira de Oliveira[*]
brunapoliveira@gmail.com

Maria Amélia Dionísio[†]
amelia.dionisio@ist.utl.pt

Teresa Silveira[‡]
tfsilveira@gmail.com

Maria Amália Sequeira Braga[§]
masbraga@dct.uminho.pt

Ana Z. Miller[**]
azm@fct.unl.pt

Maria Filomena Macedo[††]
mfmd@fct.unl.pt

Resumo

Qualquer projecto que prepare intervenção relevante no património cultural construído, tal como vem explicitamente definida na Carta de Cracóvia de 2000, exige o uso de técnicas de diagnóstico de vária índole. Só desta forma faz sentido a intervenção pois estão envolvidos não só aspectos económicos (dinheiro e tempo), como também se está a lidar com objectos de características únicas sobre os quais há a obrigação (moral) de preservar para as gerações futuras. Apresentam-se neste trabalho os resultados relativos a um estudo pormenorizado do decaimento da rocha granítica empregue na Igreja dos Terceiros da Ordem de São Francisco (Porto), assim como da intervenção levada a cabo. Os filmes negros, as patinas ocres e a formação de plaquetas constituem as principais formas de degradação ocorrentes. Através da utilização de MEV-EDE, DRX, microscopia óptica e técnicas microbiológicas fez-se a sua caracterização morfológica, mineralógica, química e biológica, o que possibilitou discutir a origem das referidas patologias.Com base nesta informação e tendo em vista retardar o processo degradativo em curso efectou-se uma intervenção de conservação que consistiu principalmente na estabilização dos processos de decaimento.Para além do levantamento de patologias e mapeamento das intervenções, a fachada foi submetida a processos de limpeza, consolidação, reforço estrutural, acções de colagem e tratamento de juntas e aplicação de sistema electrostático anti-pombos.

Palavras-chave: Granito, Património Cultural, Diagnóstico, Filmes negros, Intervenção.

[*] Mestre em Conservação e Restauro.

[†] Professora Auxiliar do Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa.

[‡] Conservadora Restauradora da empresa CaCO3-Conservação do Património Artístico, Lda.

[§] Professora Associada aposentada da Escola de Ciências da Universidade do Minho.

[**] Conservadora Restauradora e doutoranda em Conservação e Restauro da FCT-UNL.

[††] Professora Auxiliar da FCT-UNL.

1 Introdução

O decaimento da pedra aplicada em Património Cultural Construído tem inevitavelmente impactos negativos, seja pela impossibilidade de fruição, seja pela necessidade de aplicação de medidas correctivas. Este decaimento pode ser entendido como a tentativa de adaptação da pedra a um ambiente diferente daquele onde se encontrava na sua jazida. Actualmente considera-se que o decaimento resulta de fenómenos químicos, físicos e/ou biológicos. Em geral os seus efeitos somam-se, convergem e as suas causas entrecruzam-se. Os fenómenos de carácter químico podem ter consequências físicas, uma transformação física pode conduzir a determinadas reacções químicas e as acções biológicas repercutem-se em modificações físicas e químicas.

Para a ocorrência de processos de decaimento concorrem factores como as características próprias dos materiais, a orientação geográfica ao regime pluviométrico, eólico e de insolação do monumento ou de suas partes relevantes, a sua função ao longo da História, assim como, em muitos casos, o vandalismo e a incultura das pessoas.

Neste trabalho apresentam-se os resultados relativos à caracterização laboratorial das formas de degradação mais relevantes, ocorrentes na fachada principal de um edifício histórico do Porto, a Igreja dos Terceiros da Ordem de São Francisco. É igualmente abordada e discutida a intervenção de conservação e restauro levada a cabo.

2 Materiais e métodos

A Igreja dos Terceiros da Ordem de São Francisco (Figura 1a) foi construída no estilo neoclássico, em 1805. O material de construção usado foi o Granito do Porto, ou seja, um granito de duas micas, leucocrata, de grão médio, por vezes com tendência porfiróide [1]. A igreja está confinada entre dois edifícios também construídos com o mesmo tipo de granito, tal como a maioria da cantaria da cidade do Porto.

Procedeu-se à identificação e mapeamento das formas de deterioração, assim como à amostragem de alguns produtos de alteração (até à cota 3,80m). Foram coligidas amostras de plaquetas associadas a *filmes negros*, a *pátinas ocre* e a *biofilmes*. Realizaram-se estudos mineralógicos usando difracção de raios-X (DRX), microscópio electrónico de varrimento munido de sistema de microanálise por espectrometria de dispersão de energias (MEV-EDE) e químicos, por espectrometria de fluorescência de raios-X com sistema dispersivo de comprimentos de onda (EFRX-DCO). Os microrganismos foram identificados através de lupa binocular, microscopia óptica e técnicas de cultura microbiológicas. O material biológico foi inoculado em placas Petri contendo meios de cultura sólidos, nomeadamente PDA (Potato Dextrose Agar) e BG-11 [2].

3 Resultados e discussão

3.1 Diagnóstico das formas de deterioração da pedra

Entre as formas de deterioração da pedra, com maior impacto na leitura da fachada da Igreja dos Terceiros da Ordem de São Francisco, destacam-se os *filmes negros*. *Plaquetas*, *pátinas ocre*, *biofilmes*, *desagregação granular* e, com menor intensidade *crostas negras*, são outras formas de deterioração que se identificaram no monumento [2]. Segundo este autor, os *filmes negros,* que revestem aproximadamente 70% da superfície pétrea (Figura 1a), são caracterizados pelo seu aspecto homogéneo formando uma cobertura quase contínua, pela sua espessura muito reduzida (em média 1μm nas amostras estudadas) e pela forte aderência ao substrato pétreo (Figure 1b,c). Devido a estas duas últimas características, foi impossível separar os *filmes negros* do restante material, o que dificultou quer os estudos laboratoriais, quer as estratégias de intervenção. Na superfície dos *filmes negros* observaram-se cristais de gesso (de cor branca) e nas fronteiras dos grãos da pedra granítica ocorrem microrganismos epilíticos com tonalidades variando entre o vermelho escuro e o negro. A forma arredondada a ovóide ou irregular foi igualmente observada em *filmes negros* do Granito do Porto [3]. Os *filmes negros* no presente caso de estudo são constituídos por agregados de pequenas partículas cimentadas por uma matriz amorfa de composição, essencialmente rica em Al e Si, com menores quantidades de Ca, K, Fe, S, P, C, Pb e Ni. Cinzas volantes de superfície lisa ou rugosa, assim como partículas ricas em Ni, Fe e Pb, ou constituídas por compostos de carbono, incorporadas na superfície do filme negro, resultam da contribuição da poluição atmosférica industrial e urbana sobre as pedras do monumento. A caracterização das formas de deterioração que se desenvolvem nas pedras graníticas de monumentos e edifícios da cidade do Porto foi referida por [2,4]. Na Igreja dos Terceiros da Ordem de São Francisco, os *filmes negros* estão ainda associados a colonização microbiana de fungos que, na maior parte dos casos, são filamentosos [2]. Este autor identificou os seguintes géneros: *Alternaria* sp., *Aspergillus* sp., *Cladosporium* sp., *Epicoccum* sp., *Paecilomyces* sp., *Penicillium* sp., *Pithomyces* sp., *Trichoderma* sp e *Ulocladium sp.*. A coloração negra desta patologia explica-se pela presença de material particulado resultante da poluição antropogénica e também da referida colonização epilítica.

As *plaquetas* encontram-se associadas, quer a *filmes negros*, quer a *pátinas* ocre e ainda a *biofilmes*. A espessura das plaquetas varia entre 0,5mm e 2mm.

O *biofilme verde* constitui uma comunidade microbiana endolítica de aspecto filamentoso, de clorófitas (algas verdes) e cianófitas (cianobactérias), cujo crescimento controla o desenvolvimento das *pátinas ocre* de oxalato. Os estudos por microscopia óptica e SEM-EDE realizados por [2], permitiram a

identificação dos seguintes géneros *Trentepohlia s.p, Chaetophorales (Leptosira sp. ou Gongrosira sp.), Chlorella sp., Klebsormidium sp., Plectonema sp., Phormidium sp., Chroococcopsis sp., Synechocystis sp.* e *Synechococcus sp.*.

As *pátinas ocre* caracterizam-se por coloração que varia entre rosa, vermelho, castanho e amarelo, por serem baças, macias ao tacto, com textura entre lisa e botrioidal e espessura inferior a 1mm. A sua composição mineralógica é caracterizada pela presença de whewellite (oxalato de cálcio mono-hidratado), que ocorre entrelaçada com cristais de gesso, quartzo, moscovite e, ainda, com cinzas volantes.

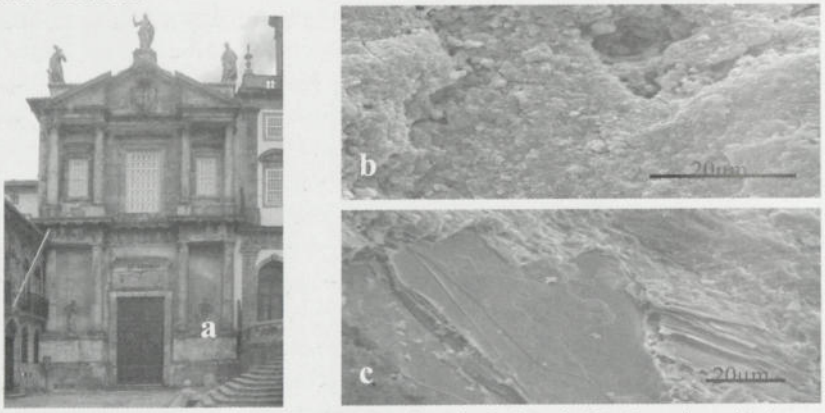


Figura 1: a) Fachada Sul da Igreja dos Terceiros da Ordem da São Francisco; b) Aspecto geral dos *filmes negros* mostrando a rugosidade superficial do filme (MEV); c) cobrimento do substrato granítico deixando a descoberto planos de clivagem de moscovite. Notar a reduzida espessura do filme e a sua penetração entre planos esfoliados da mica (MEV).

3.2 Estratégias de conservação

A intervenção de conservação e restauro, realizada na Igreja dos Terceiros da Ordem de São Francisco, teve como principal objectivo a estabilização dos processos de decaimento da pedra. A fachada da Igreja foi submetida a processos de limpeza por via húmida, química e mecânica, onde se destacam: limpeza dos *filmes negros*; tratamento de juntas; acções de reforço estrutural e colagem de fragmentos; acções de estucagem de superfícies; reposição de volumes em granito em áreas de falta e tratamento de protecção através da aplicação de um hidrofugante. Foi ainda aplicado um sistema electrostático dissuasor de aves. Estas etapas foram devidamente documentadas e mapeadas.

A intervenção realizada visou sempre atingir um grau de limpeza que não comprometesse a leitura do edifício, face ao conjunto onde se insere, uma vez que os restantes edifícios não se encontram intervencionados. Houve a preocu-

pação de respeitar o princípio de intervenção mínima de forma a garantir a conservação da pedra granítica aí aplicada.

A irradicação dos microrganismos era uma das acções primordiais da intervenção. Desta forma foram aplicados sais de amónio quaternário (inferior a 4% v/v), em duas fases: imediatamente após a limpeza preliminar a seco das superfícies e após o tratamento de juntas.

Os *filmes negros* constituíam o maior desafio da intervenção. A sua limpeza é, em todos os casos, de difícil resolução. As suas propriedades físicas e químicas conferem-lhe características únicas que dificultam a sua remoção. A limpeza química é muitas vezes a solução encontrada, mas nem sempre a mais acertada. O processo de limpeza para os filmes centrou-se na utilização de um sistema (Exastrip®) que utiliza partículas esféricas de carbonato de cálcio (Exadho®), cuja agressividade é particularmente reduzida. Este agregado é tecnicamente avançado, natural e neutro, com dureza aproximada de 2.8 na escala de Mohs. O equipamento permite a utilização deste agregado a uma pressão de trabalho que não excede os 3bar. Tem como vantagem a possibilidade de utilização de sistema misto, agregado + água, com um caudal mínimo (o suficiente para facilitar a limpeza e a observação do trabalho que se está a efectuar, controlando o grau desejado).

Os resultados da intervenção foram bastante satisfatórios. As vantagens da utilização deste processo são, para além das questões técnicas, as ambientais e sanitárias. Por ser inócuo, a limpeza dos excessos torna-se fácil, evitando a contaminação de níveis freáticos. Também para o utilizador as vantagens são grandes, sendo necessário apenas a utilização de equipamento de protecção individual adequado.

4 Conclusões

As formas de deterioração que mais contribuem para o decaimento da fachada da Igreja dos Terceiros da Ordem de São Francisco são os *filmes negros*, as plaquetas, as *pátinas ocre* e os *biofilmes*. Sendo os *filmes negros* constituídos por um material particulado, rico em Si-Al, cinzas volantes, gesso, partículas metálicas (Ni, Fe, Pb), entre outros elementos e fungos, embebidos numa matriz amorfa e, sendo discordantes do substrato pétreo, uma fonte exógena para a deposição dessas partículas deve ser considerada. Além disso, admite-se também uma origem biogeoquímica complementar para a formação dos *filmes negros*, através de mecanismos de dissolução dos minerais silicatados do substrato e posterior precipitação da matriz amorfa aluminossilicatada, onde as partículas de fonte exógena são fixadas. A existência do biofilme verde é determinante na formação das *pátinas ocre* de oxalato de cálcio, uma vez que os microrganismos são responsáveis pela excreção microbiana de ácido oxálico.

O filme negro altera as propriedades físicas da superfície pétrea criando uma interface mais resistente e menos permeável ao vapor de água.
A estabilização dos fenómenos de degradação é a base de qualquer intervenção de conservação. Deste modo, a intervenção realizada na fachada da Igreja dos Terceiros da Ordem de São Francisco visou, antes de mais, eliminar/minimizar os factores de degradação predominantes. A irradicação dos microrganismos bem como a limpeza dos *filmes negros* foram as acções de maior relevância em todo o processo.
O programa de conservação da pedra granítica da Igreja não se centrou exclusivamente na intervenção directa sobre a pedra (conservação activa), mas encontram-se igualmente contempladas operações periódicas de manutenção.

5 Agradecimentos

À instituição, Venerável Ordem dos Terceiros de São Francisco, pela cedência das amostras. O trabalho foi parcialmente financiado pelo Sub-Projecto DECASTONE do Centro de Petrologia e Geoquímica do Instituto Superior Técnico. Este estudo contou com o suporte do Programa de Financiamento Plurianual de Unidades de Investigação da FCT, financiado pelo fundo FEDER (EU) e pelo Orçamento de Estado da República Portuguesa.

6 Bibliografia

[1] Costa, J. C., Teixeira, C. *Carta Geológica de Portugal na escala 1/50000.* Noticia Explicativa da Folha 9-C (Porto). Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, 1957, pp. 21-26.

[2] Pereira de Oliveira, B. *Caracterização de filmes negros em pedras graníticas. O caso de estudo da Igreja dos Terceiros da Ordem de São Francisco do Porto.* Dissertação de Mestrado, UNL, Lisboa, 2008.

[3] Sterflinger, K., Blazquez, F , Garcia-Valles, M., Krumbein, W.E., Vendrell-Saz, M. *Patina, microstromatolites and black spots as related to biodeterioration processes of granite.* Proc. European Commission Workshop Degradation and Conservation of Granitic Rocks in Monuments, Santiago de Compostela, 28-30 November 1994, Research Report nº 5, 1986, pp.391-398.

[4] Begonha, A. Meteorização do granito e deterioração da pedra em monumentos e edifícios da cidade do Porto. Dissertação de Doutoramento, Universidade do Minho, 1997.

TIPOLOGIAS E PRINCIPAIS DANOS OBSERVADOS EM CONSTRUÇÕES DE XISTO

Ricardo S. Barros*
rbarros@ufp.edu.pt

Daniel V. Oliveira†
danvco@civil.uminho.pt

Humberto Varum‡
hvarum@ua.pt

Resumo

As construções em xisto representam um legado cultural, arquitectónico e histórico muito importante em Portugal e na Europa, que urge preservar. Em Portugal, as construções tradicionais em xisto encontram-se dispersas por diversas regiões, de Norte a Sul, variando as tipologias das construções, as metodologias construtivas e até o próprio xisto. Os danos mais comuns neste tipo de construções são devidos ao deficiente funcionamento das fundações, ao peso dos pavimentos e/ou coberturas em betão armado executados em intervenções recentes, à deterioração dos elementos estruturais de madeira e à colonização biológica e ataques químicos, principalmente em elementos não rebocados. No entanto, apesar dos danos observados nas construções em xisto, estas possuem capacidade estrutural que, se devidamente reabilitadas, lhes permitirão desempenhar as funções que lhes são destinadas. Com estudos e ferramentas adequadas poderão ser desenvolvidas metodologias e soluções de reabilitação e reforço, permitindo incrementar a capacidade e garantir a durabilidade adequada para estas construções, recuperando e preservando soluções construtivas à base de xisto. Este artigo apresenta o primeiro passo de um estudo das tipologias construtivas em xisto existentes em Portugal e da análise dos principais danos registados em construções tradicionais de xisto.

Palavras-chave: Xisto, Alvenaria, Danos, Tipologias.

* Assistente, Universidade Fernando Pessoa; Aluno de doutoramento, ISISE, Universidade do Minho.
† Professor Auxiliar, ISISE, Universidade do Minho.
‡ Professor Auxiliar, Universidade de Aveiro.

1 Introdução

Por todo o mundo são registadas diferentes aplicações do xisto (castelos, fortalezas, igrejas, muralhas, habitações, muros, poços, etc.) e variadas soluções construtivas. De uma forma geral, as construções em xisto inserem-se na paisagem de tal forma que dão a sensação que não foram construídas, mas que nasceram no local, garantindo, assim, uma grande harmonia entre a paisagem natural e a arquitectura. Esta arquitectura tradicional foi, ao longo dos tempos, executada integralmente com a utilização de materiais existentes localmente, sendo desta forma considerada uma construção verdadeiramente sustentável.

Portugal é um país com um vasto património de construções tradicionais em xisto, espalhadas por diversas regiões, de Norte a Sul do país, variando as tipologias e metodologias construtivas, bem como o próprio material xisto, que, dependendo da zona de onde é extraído, pode ter propriedades e características diferentes. Hoje em dia, estas construções são cada vez mais valorizadas tanto a nível arquitectónico como para fins turísticos.

2 Geografia e geologia do xisto

Portugal continental faz parte da maior unidade morfoestrutural da Península Ibérica, o Maciço Antigo, que, de Espanha, entra largamente no nosso país, onde ocupa todo o Minho e Trás-os-Montes e a maior parte das Beiras e do Alentejo, formando um conjunto de troços aplanados. São cerca de sete décimos do território continental constituídos por um conjunto de rochas précâmbricas e paleozóicas, com predomínio de xistos, granitos e quartzitos, enrugados ou deslocados por vários ciclos orogénicos [1]. O xisto é uma rocha metamórfica que tem uma estrutura xistosa de forma irregular ou plana, na qual são visíveis a olho nu as suas camadas minerais, ver Figura 1. Os xistos distinguem-se das outras rochas metamórficas pelo tamanho dos seus cristais minerais e, comparativamente à ardósia, a sua estrutura é mais enrugada e irregular. Estas rochas quebram-se facilmente pelos seus planos de xistosidade como as ardósias ao longo da sua linhagem.



Figura 1: Xisto originário de: (a) Minho, (b) Trás-os-Montes, (b) Beiras.

O metamorfismo regional está relacionado com a pressão litostática que acontece em locais de formação de montanhas, como se pode observar através

da distribuição das rochas em Portugal continental apresentada na Figura 2. A acção da pressão diminui a granulação das rochas fragmentando os seus cristais, transformando a rocha num elemento plano.

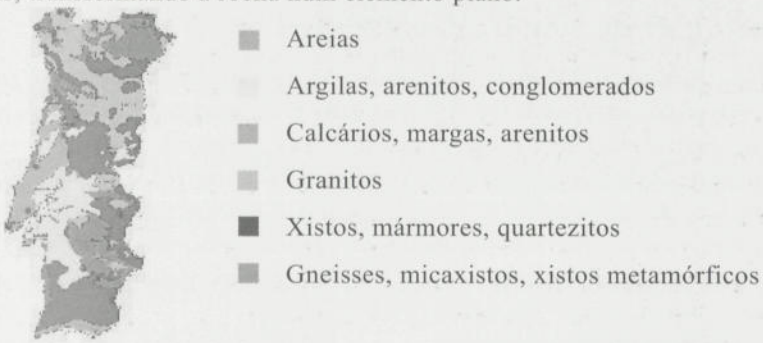


Figura 2: Mapa litológico de Portugal continental [3].

De acordo com o mapa litológico apresentado e tendo em consideração que este trabalho de investigação se encontra na sua fase inicial, o foco dos levantamentos efectuados foi centrado na regiões do Minho, Trás-os-Montes e Beiras. Desta forma foram analisadas 5 construções no Minho, 20 construções em Trás-os-Montes e 6 construções nas Beiras.

3 O xisto como material de construção

Tradicionalmente, o xisto extraía-se de pedreiras em lascas, sem qualquer tipo de tratamento, e sobrepunha-se construindo-se as casas de habitação e demais dependências utilitárias, assim como muros de vedação, calçadas, moinhos, azenhas, lagares e pontes (ver exemplos na Figura 3). Nas casas de habitação, o xisto era empregue na construção das paredes, das escadas e, em algumas situações, até das coberturas [4].



Figura 3: Construções em xisto: (a) Capela; (b) Pontes [5]; (c) Muro.

A par do xisto, a madeira era utilizada como material complementar na construção das paredes. Esta era usada para as varandas e sobrados, assim como para os lintéis das portas e janelas das casas mais humildes. Já as casas pertencentes a proprietários com mais recursos exibiam, muitas vezes, blocos de granito nos lintéis, em vez da madeira. Esta particularidade deve-se à difi-

culdade de extracção de blocos de xisto com dimensões e resistência adequadas para aplicações em vãos [4].

4 Tipologias de construção em xisto

As casas tradicionais de xisto têm normalmente uma geometria em planta quadrada ou rectangular, com dois pisos ou três, no máximo. Como muitas destas construções existem em zonas montanhosas é normal encontrar casas onde o primeiro piso tenha uma parede encostada ao terreno de fundação, encontrando-se, desta forma, o segundo piso numa das fachadas ao nível do terreno. As diferentes tipologias existentes ao longo do país estão directamente relacionadas com a população, a sua actividade, os seus usos e costumes e o seu nível económico, como se exemplifica na Figura 4.


(a)


(b)

Figura 4: Exemplos de tipologias construtivas: (a) Trás-os-Montes, (b) Beiras.

As fundações das casas em xisto eram efectuadas com o mesmo material, constituindo-se como um prolongamento das paredes resistentes no solo, até uma profundidade de, normalmente, 60 cm, dependendo da zona de implantação do edifício. O assentamento das paredes e as suas conexões dependia da qualidade da pedra e da qualidade da metodologia de construção. A realização de um correcto assentamento das pedras de xisto na execução das paredes é de extrema importância devido às características das próprias pedras de xisto, reduzida resistência na direcção da sua estratificação. As paredes destas estruturas podem ser duplas ou simples. No caso de paredes duplas, a interligação transversal entre os dois panos era normalmente executada através de ligantes em xisto ou madeira.

Outro factor que caracteriza as diferentes tipologias de alvenaria é o ligante. Existem paredes nas quais foram aplicados diferentes tipos de ligantes, tais como argamassas de cimento ou terra. Encontram-se paredes de dois panos sem qualquer ligante, em que o assentamento regular do xisto associado às irregularidades das pedras levam a que as paredes tenham um bom funcionamento mecânico. As zonas mais débeis dos edifícios, como os lintéis sobre as portas e janelas e os cunhais, eram normalmente executados com outros materiais (rochas mais duras, normalmente granito, ou madeira). A execução de rebocos não era muito usual, podendo ser encontrados em edifícios religiosos ou em habitações de proprietários mais abastados.

Em relação aos restantes elementos estruturais, denota-se a predominância de pavimentos em madeira, paredes divisórias em tabique, e cobertura em madeira com revestimento de telha cerâmica ou mesmo xisto, normalmente ardósia.

5 Caracterização de danos comuns

A caracterização dos danos em construções em alvenaria de xisto abrange todos os danos típicos de construções de alvenaria de pedra, acrescendo ainda alguns danos exclusivos deste tipo de estruturas.

Um dos danos mais gravosos existente em estruturas tradicionais de xisto é a degradação da própria pedra. A degradação do xisto apresenta-se habitualmente nos pisos térreos dos edifícios, normalmente nas paredes exteriores ou em espaços utilizados para animais. Este dano tem normalmente origem química, aliada à diferença de temperatura entre o interior e o exterior da construção, ver Figura 5a).

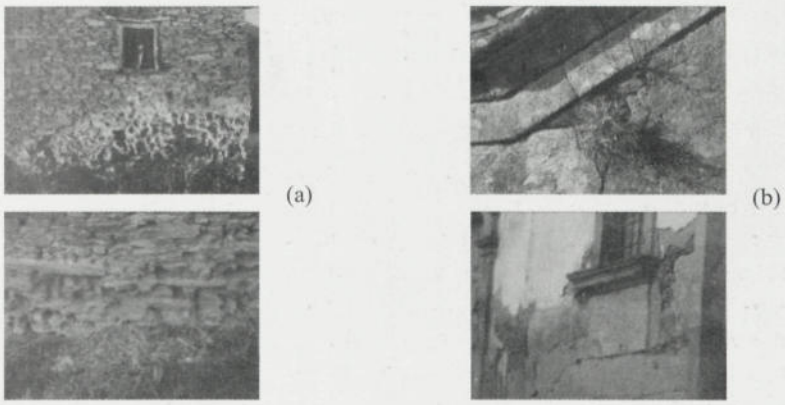


Figura 5: Danos comuns em construções de xisto: (a) degradação do xisto; (b) deterioração e destacamento do reboco.

Outro dos danos nas estruturas de xisto é a deterioração ou destacamento do reboco que pode levar ao aparecimento de outros danos relativos à exposição da estrutura xistosa da parede ao meio ambiente, como por exemplo a vegetação ou a erosão do ligante, como se representa na Figura 5b).

A presença de fendas diagonais nos paramentos é outro dano corrente, normalmente devido a assentamentos do solo de fundação, uma vez que muitas destas construções foram implantadas em declives. Por outro lado, as fendas verticais detectadas, apresentam-se normalmente em zonas de apoio de elementos estruturais, como vigas de pavimento ou de cobertura.

A falta de pedras nos paramentos aparece em algumas construções mais antigas que não tiveram acções de manutenção. Este tipo de dano pode estar

relacionado com a falta de ligante ou até pelo agravamento de outras patologias.

No caso de construções na região de Trás-os-Montes, onde é normal a construção de paredes de duas folhas, é possível observar o colapso de panos exteriores de parede (ver exemplo na Figura 6a) ou deformações das próprias paredes para fora do seu plano, como se pode observar na Figura 6b).



(a)



(b)

Figura 6: Danos em paredes duplas: (a) colapso do pano exterior; (b) deformação para fora do plano das paredes de empena e da fachada principal.

6 Conclusões

O trabalho apresentado corresponde à fase inicial de um trabalho de investigação que tem como objectivo o estudo das construções em xisto, em geral, e do seu funcionamento estrutural, em particular. As diferentes tipologias das construções em xisto existentes nas zonas estudadas estão directamente relacionadas com as actividades da população e com o seu nível económico. Estes aspectos são cruciais para a compreensão das variações tipológicas existentes no nosso país.

Grande parte dos danos verificados nestas construções são devidos ao deficiente funcionamento das fundações, ao excessivo peso dos pavimentos ou coberturas, à deterioração dos elementos estruturais de madeira, à vegetação e a outras causas ambientais, principalmente nos edifícios sem reboco.

7 Bibliografia

[1] Brito, R., *A terra que habitamos, unidades morfoestruturais*. Disponível em www.igeo.pt (consultado em 07.08.2008), 2008.

[2] Machado, F., *Rochas metamórficas*. Disponível em http://www.rc.unesp.br/museudpm/rochas/metamorficas/metamorficas2.html (consultado em 07.08.2008), 2008.

[3] Rochas de Portugal. Disponível em http://www.dct.uminho.pt/rpmic/locpormapa.html (consultado em 18.10.2008).

[4] Cardoso, A., *Arquitectura em xisto*, Jornal ABARCA, 2006.

[5] Pereira, J., *Pióbão – Aldeia Histórica, Presépio da Beira Serra*, Perira, J., 2006.



SESSÃO XXIV

ESTUDO DE CASOS

SISTEMA HIGRO-REGULÁVEL DE VENTILAÇÃO DA BASE DAS PAREDES PARA TRATAMENTO DA HUMIDADE ASCENSIONAL EM EDIFÍCIOS ANTIGOS

Ana Sofia Guimarães*
anasofia@fe.up.pt

Vasco Peixoto de Freitas†
vpfreita@fe.up.pt

Resumo

A humidade é uma das principais causas da degradação dos edifícios, nomeadamente a humidade ascensional proveniente do solo, que por capilaridade migra através dos materiais que constituem as paredes e pavimentos dos edifícios.

O tratamento da humidade ascensional em paredes de edifícios históricos é muito complexo devido à sua espessura e heterogeneidade. As técnicas utilizadas tradicionalmente para solucionar este problema (barreiras químicas, barreiras físicas, electro-osmose, etc.) têm demonstrado alguma ineficácia, daí a necessidade de estudar novos sistemas.

Nos últimos 10 anos, o Laboratório de Física das Construções (LFC) da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) tem desenvolvido estudos experimentais com o objectivo de validar uma nova técnica para tratamento da humidade ascensional em edifícios históricos [1].

A técnica consiste na ventilação da base das paredes através de um dispositivo mecânico higro-regulável. Trata-se de uma tecnologia inovadora validada em Laboratório [1; 2].

Neste artigo apresenta-se o princípio de funcionamento de um sistema higro-regulavél de ventilação da base das paredes, a sua caracterização e os resultados das medidas conduzidas numa Igreja, no Norte de Portugal.

Palavras-chave: Humidade ascensional, Edifícios Antigos, Sistema Higro-regulável.

* Assistente da FEUP. Colaboradora do Laboratório de Física das Construções.
† Prof. Catedrático da FEUP. Director do Laboratório de Física das Construções.

1 O Problema

Em Portugal existem vários edifícios históricos com paredes degradadas pela humidade ascensional e pela presença de sais que se cristalizam e se dissolvem [1, 2]. As técnicas tradicionalmente utilizadas não são eficazes quando se trata de paredes heterogéneas e de espessura considerável.

O trabalho de investigação até agora realizado no LFC, sobre o problema da humidade ascensional em edifícios antigos, permitiu o desenvolvimento de uma nova técnica que contribuísse para a resolução efectiva do problema.

Neste artigo o sistema higro-regulavél de ventilação da base das paredes é caracterizado através de um estudo desenvolvido no Laboratório de Física das Construções (LFC) da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) [3, 4]. Apresentam-se ainda os resultados das medidas conduzidas numa Igreja no Norte de Portugal onde este sistema foi implementado, com a finalidade de validar o seu funcionamento e de estabelecer critérios para programação do ventilador.

2 A Ideia

A ideia baseia-se na circulação de ar no sistema de ventilação da base das paredes, que faz aumentar a evaporação e se traduz numa redução do nível atingido pela frente húmida. Isto é possível somente quando o nível freático é mais baixo do que a fundação da parede.

O sistema higro-regulável de ventilação da base das paredes é constituído por canais periféricos enterrados, adjacentes à base das paredes do edifício, cuja circulação de ar é forçada por um ventilador accionado por sondas que medem o diferencial de pressão de vapor do ar à entrada e à saída do sistema (Figura 4). O canal de ventilação pode ser materializado por elementos pré-fabricados, com uma face aberta, em contacto com a base da parede a tratar ou uma tubagem em betão perfurada.

O canal/tubagem enterrado contorna as paredes e permite a circulação do ar num só sentido sendo a admissão e a exaustão posicionadas de forma a não permitir a recirculação do ar.

Este sistema é aplicável em situações em que a cota de implementação do sistema se encontra acima do nível freático e tem por objectivo transportar vapor de água para o exterior acelerando o processo de secagem das paredes, diminuindo o nível atingido pela humidade ascensional (capilaridade).

Trata-se de um sistema vocacionado para o tratamento de paredes de alvenaria em contacto com o solo de construções históricas/monumentos.

3 Validação "In Situ" e Afinação do Sistema Higro-Regulável

3.1 Descrição do sistema instalado

Para validação da ideia "in situ", foi instalado um sistema de ventilação da base das paredes numa Igreja no Norte de Portugal.

No interior do edifício foi construído um sistema com ventilação mecânica higro-regulável (Figura 1). O ar admitido entra através de uma grelha localizada no interior do edifício com extracção para o exterior da Igreja [3, 4].

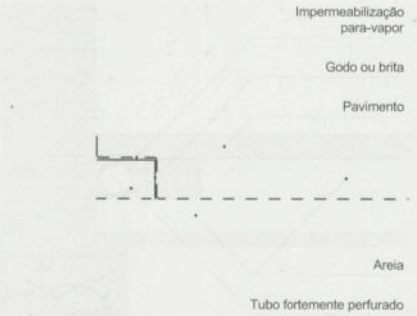


Figura 1: Sistema de ventilação da base das paredes instalado no interior da igreja.

3.2 Resultados

Inicialmente o sistema entrava em funcionamento sempre que a humidade relativa à saída era 5% superior relativamente à humidade relativa à entrada. Na Figura 2 apresentam-se os períodos de funcionamento do ventilador. Verificou-se que este critério não era o mais adequado pois o sistema funcionava em períodos em que ocorreram condensações no seu interior [3, 4].

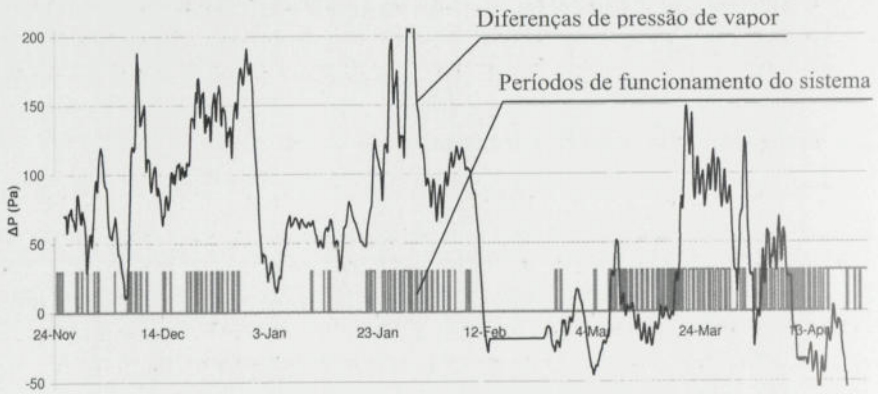


Figura 2: Diferenças de pressão de vapor e períodos de funcionamento do sistema.

3.3 Optimização do critério de funcionamento do sistema

Com base nos resultados experimentais propõe-se um novo critério, com vista à optimização do sistema, baseado na diferença de pressão de vapor (ΔP) à saída e a à entrada. O sistema entra em funcionamento sempre que o ΔP seja positivo (Figura 3).

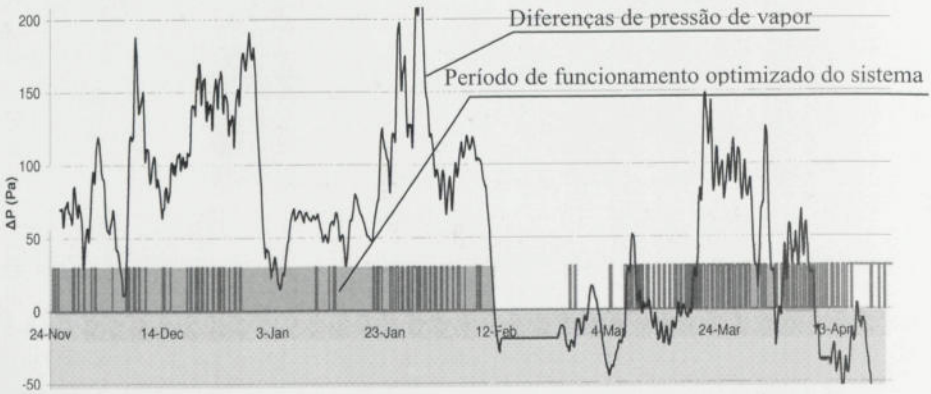


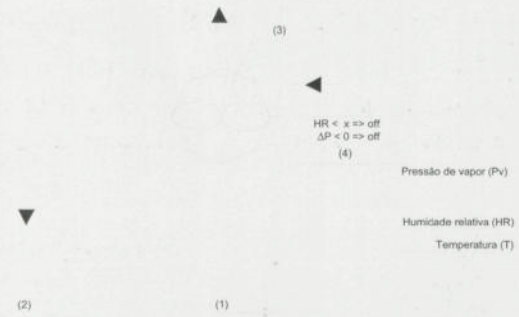
Figura 3: Período de funcionamento optimizado do sistema.

Quando o ar entra com uma humidade relativa muito baixa pode gerar-se a cristalização de sais existentes nos materiais pondo em causa a sua durabilidade, pelo que se deverá limitar o valor da humidade relativa à entrada [3, 4].

Considera-se que os valores de humidade relativa registados, compreendidos entre 60% e 95%, não causam riscos de cristalização/dissolução de sais no interior do sistema, mas o problema pode surgir noutro tipo de clima exterior.

4 Conclusão

O trabalho desenvolvido permitiu optimizar o funcionamento do sistema passando a extracção a ser controlada por um motor de velocidade variável, higro-regulável que entra em funcionamento sempre que a pressão de vapor de água à entrada é inferior à pressão de vapor de água à saída, determinado a partir da conjugação da temperatura e da humidade relativa, e sempre que a humidade relativa do ar à entrada é superior a um determinado valor pré-definido (Figura 4).



- Sonda 1 – Entrada (temperatura e humidade relativa)
- Sonda 2 – Saída (temperatura e humidade relativa)
- Ventilador de velocidade variável
- Módulo de controlo:
  - Sonda 1 – T1 e HR1 => Pressão de vapor 1 (Pa)
  - Sonda 2 – T2 e HR2 => Pressão de vapor 2 (Pa)
  - Calculo de $\Delta P = P2-P1$
- Instrução de funcionamento do ventilador:
  - Ligado se $\Delta P \geq 0$ e HR1 > Valor pré-determinado
  - Desligado se $\Delta P \leq 0$ ou HR1 < Valor pré-determinado

Figura 4: Princípio de funcionamento de um sistema higro-regulável.

O módulo de controlo recebe informação das duas sondas (temperatura e humidade relativa à entrada e à saída), calcula a pressão de vapor de água à entrada e à saída, avalia o sinal positivo ou negativo do diferencial de pressão ligando ou desligando o ventilador [3].

5 Agradecimentos

Agradece-se à FCT no âmbito da Bolsa com a ref.ª SFRH/BD/43201/2008.

6 Bibliografia

[1] Torres, M.I.M. *Humidade Ascensional em Paredes de Construções Históricas*; Tese de Doutoramento, FCTUC, Coimbra, 2004.

[2] Freitas, V. P. de. et al. *Humidade Ascensional*. Porto: FEUP, 2008.

[3] Guimarães, A. S. *Caracterização Experimental do Funcionamento de Sistemas de Ventilação da Base das Paredes para Tratamento da Humidade Ascensional*, Dissertação de Mestrado, FEUP, Porto, 2008.

[4] Freitas, V.P., Guimarães, A. Characterization of a hygro-regulated Wall Base Ventilation System for Treatment of Rising Damp in Historical Buildings. *Nordic Symposium on Building Physics*, 16-18 de Junho de 2008, pp 911-919.

REVESTIMENTOS COMPATÍVEIS PARA PAREDES ANTIGAS SUJEITAS A CAPILARIDADE ASCENDENTE

Aplicação a um Caso de Estudo

Maria do Rosário Veiga[*]
rveiga@lnec.pt

Ana Fragata[†]
afragata@lnec.pt

Martha Tavares[‡]
marthal@lnec.pt

Ana Cristian Magalhães[§]
acristian@lnec.pt

Nuno Ferreira[**]
nuno.ferreira@edifer.pt

Resumo

Em Portugal, as intervenções de recuperação e reabilitação de monumentos (igrejas, conventos, palácios, fortes), assim como centros históricos (edifícios habitacionais), têm vindo a assumir cada vez maior relevância. Numa intervenção de reabilitação, para se garantirem as exigências actuais de habitabilidade e aparência estética, sem descaracterizar os revestimentos, é necessário implementar soluções compatíveis com os suportes e materiais preexistentes. Neste trabalho descreve-se a aplicação a um caso de estudo de uma metodologia de diagnóstico para definição das causas prováveis das anomalias e avaliação do estado de conservação dos revestimentos. Finalmente referem-se as medidas adoptadas para reparação das anomalias através do controlo das causas e da minimização dos seus efeitos.

Palavras-chave: Revestimentos, Reabilitação, Compatibilidade, Argamassas, Conservação, Humidade.

1 Introdução

No âmbito dos trabalhos de reabilitação de um antigo Convento do século XVII – o Convento dos Inglesinhos, com o objectivo a sua adaptação a habita-

[*] Investigadora Principal, Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
[†] Doutoranda, Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
[‡] Doutoranda, Laboratório Nacional Engenharia Civil.
[§] Doutoranda, Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
[**] Director da Obra, Engenheiro Civil, Edifer.

ção em condomínio de luxo (Figuras 1,2 e 3) localizado no centro de Lisboa, foi solicitado ao Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), pela empresa construtora Edifer, um Parecer sobre anomalias construtivas nos paramentos exteriores e interiores de paredes. Posteriormente, foi ainda realizado o acompanhamento e apoio à implementação das medidas de reparação preconizadas. Para a elaboração deste parecer, foram realizadas visitas à obra com os seguintes objectivos: (i) avaliação geral do estado de conservação dos revestimentos; (ii) recolha de informação sobre o edifício e a obra realizada; (iii) identificação das anomalias (iv) realização de ensaios *in situ* sobre vários paramentos de paredes, interiores e exteriores.



Figura 1: Fachada Oeste, após intervenção.



Figura 2: Fachada principal (Sul), após intervenção.



Figura 3: Fachada lateral, após intervenção.

2 Estado de Conservação dos Revestimentos

Durante as obras de reabilitação os revestimentos antigos foram removidos e substituídos por novos revestimentos, constituídos por cal e cimento, tanto no interior como no exterior do edifício, apresentando alguma fissuração após a sua aplicação. Estes novos revestimentos foram tratados com um produto que, segundo a Ficha Técnica, contribuiria para aumentar a elasticidade e diminuir a fissuração e como acabamento foi aplicado um revestimento por pintura de base polimérica. Após a aplicação destas soluções de revestimento, as principais anomalias relacionavam-se com manchas de humidade, presença de eflorescências salinas, perda de coesão, empolamento e destacamento dos revestimentos interiores e exteriores (Figuras 4, 5 e 6).



Figura 4: Eflorescências salinas nas fissuras do revestimento exterior.



Figura 5: Destacamento (grandes lacunas) do revestimento interior.



Figura 6: Destacamento da pintura no revestimento exterior.

3 Metodologia de diagnóstico

O LNEC adoptou uma metodologia de diagnóstico, para avaliar a origem da água e a sua localização e distribuição nas paredes, baseada na realização de ensaios sobre os revestimentos exteriores e interiores, com recurso a um humidímetro portátil, identificação de sais com marcadores colorimétricos e ensaios com esclerómetro de pêndulo e durómetro.

3.1 Ensaios e Análise dos Resultados

O humidímetro portátil (Figura 7) – Tramex CRH – é um instrumento utilizado para avaliar o teor de água das paredes [1, 2]. Este ensaio foi realizado em várias paredes interiores e exteriores do edifício em estudo, a alturas distintas em relação ao pavimento – 0,30 m e 1,80 m – e em duas datas diferentes – tempo seco e após uma semana chuvosa, para desta forma se poder determinar a possível origem da água. Após a análise comparativa dos resultados obtidos, verificou-se que os paramentos do rés-do-chão eram os mais húmidos. As paredes interiores encontravam-se com teores de água elevados, próximos dos das paredes exteriores, tendo aumentado após o período chuvoso. Na maioria das paredes, os teores de água eram superiores nas zonas mais baixas, reduzindo para as zonas mais elevadas.

Com marcadores colorimétricos (Figura 8) obteve-se, de forma expedita, informação sobre o tipo de sais presentes e o grau de contaminação, através da determinação semi-quantitativa do ião associado ao tipo de sal [3]. Verificou-se a presença essencialmente de cloretos, nitratos e sulfatos, devidos possivelmente à interacção de águas contaminadas do solo, à presença de cimento nas argamassas, ou ainda provenientes de outros materiais ou dos solos.

O ensaio com Esclerómetro de Pêndulo (Figura 9) – Schmidt PM - foi realizado para avaliar a resistência mecânica das últimas camadas do reboco, e o durómetro (Figura 10) - Shore A, baseado na norma ASTM D22240 [4] - para avaliar as camadas mais superficiais dos revestimentos, por forma a verificar se a humidade presente afectou essa resistência. Os ensaios realizados sobre os painéis experimentais demonstraram boa resistência mecânica das camadas mais superficiais, e um incremento na coesão devido ao revestimento por pintura, quando em comparação com um revestimento exterior com um certo grau de degradação [5].



Figura 7: Avaliação do teor de água com humidímetro portátil.



Figura 8: Ensaio com marcadores colorimétricos.



Figura 9: Ensaio com esclerómetro de pêndulo.



Figura 10: Ensaio com durómetro.

3.2 Causas Prováveis das Anomalias

Após a observação dos revestimentos na obra, da análise do seu estado de conservação e da apreciação dos resultados *in situ*, foi possível extrair conclusões sobre as causas mais prováveis das anomalias, que resultam da elevada acumulação de água nas paredes e tectos. Esta água podia ter diversas origens: (i) água de ascensão capilar proveniente do subsolo e absorvida pelas fundações e paredes; (ii) água de ascensão capilar proveniente da acumulação superficial de água da chuva junto às paredes exteriores, por inexistência ou deficiência dos sistemas drenagem; (iii) infiltrações de água do exterior com saturação dos tectos durante um longo período anterior à intervenção; (iv) infiltrações localizadas em determinadas zonas das paredes exteriores; (v) problemas pontuais em paredes interiores devidos a roturas ou deficiências de estanquidade das canalizações; (iv) humidade de condensação nos paramentos das paredes interiores [2, 6]. A presença de água nas paredes foi ainda potenciada pela dificuldade da sua eliminação através dos novos revestimentos adoptados, que reduziram a capacidade de evaporação da água, em relação aos revestimentos antigos, de cal aérea, mais porosos e permeáveis. A reduzida ventilação no interior dos espaços terá ainda piorado a situação [7].

4 Medidas Adoptadas para Reparação das Anomalias

A reparação das anomalias deve ser precedida, se possível, pela eliminação das causas que lhe deram origem. Caso tal não seja possível será necessário minimizar os seus efeitos e tomar medidas para controlar os sintomas [8].

4.1 Eliminação das causas

Foi executada a reparação da cobertura e dos sistemas de drenagem e de recolha de águas pluviais, assim como a execução de valas drenantes junto às paredes exteriores. No interior dos apartamentos foram executadas câmaras de

ventilação sob os pavimentos do rés-do-chão (Figura 11), escavaram-se pequenos túneis e introduziram-se tubos de ventilação para arejamento das paredes (Figuras 12 e 13) ao longo dos pavimentos e das paredes com abertura para o exterior, procurando assim evitar a ascensão capilar acima do pavimento.



Figura 11: Câmara e introdução de tubos de ventilação

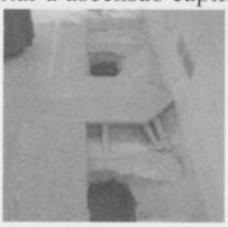


Figura 12: Pormenor dos pequenos túneis abertos no pavimento



Figura 13: Detalhe da introdução do tubo de ventilação para arejamento das paredes

4.2 Minimização dos efeitos

Removeram-se as camadas de revestimentos mais impermeáveis - barramentos sintéticos, produtos e tintas poliméricas – substituindo-os por revestimentos com base em cal aérea e tintas de silicatos sem adições orgânicas (com acabamento e cura cuidadas) nos paramentos exteriores das paredes. Procedeu-se ainda à remoção dos revestimentos interiores das paredes e tectos com base em argamassas de cal e cimento e à sua substituição por rebocos de cal aérea cobertos por estuque tradicional de gesso e cal aérea. A ventilação dos espaços durante a obra e a execução de faixas de arejamento das paredes interiores, junto aos rodapés, foram outras medidas implementadas, devendo a secagem dos paramentos continuar ao longo do tempo [6].

5 Conclusões

Este antigo Convento do séc. XVII, alvo de uma intervenção no sentido da sua adaptação a edifício de habitação, apresentava anomalias nos revestimentos, após a substituição dos revestimentos antigos por novos, com base em argamassas de cimento e cal e pinturas poliméricas, essencialmente devido ao excesso de água existente nas paredes e abóbadas. Após o levantamento do estado de conservação e o diagnóstico das anomalias dos revestimentos, através da realização de ensaios in-situ, foram determinadas as suas causas e definidas as recomendações de reparação. A metodologia de diagnóstico adoptada permitiu a identificação das causas e a localização e quantificação dos seus efeitos conduzindo a uma definição ajustada de recomendações para reparação. A empresa construtora, Edifer, colaborou nas várias fases do estudo e imple-

mentou as medidas preconizadas, apesar das dificuldades envolvidas. O aspecto estético final do empreendimento ficou próximo do original, contribuindo para preservar a identidade do edifício histórico. A colaboração de todos os intervenientes no processo foi determinante para alcançar os objectivos de eliminação das anomalias e de promoção do sucesso da intervenção a nível estético, funcional e de habitabilidade, de acordo com os princípios éticos da conservação.

6 Bibliografia

[1] MASSARI, Giovanni and Ippolito. *Damp Buildings, Old and new.* Roma: (ICCROM), 1993.

[2] HENRIQUES, Fernando M. *Humidade em paredes.* Lisboa: LNEC, 2001.

[3] BORRELLI, Ernesto. *Conservation of Architectural Heritage, historic structures and materials salts.* Roma: (ICCROM), 1999.

[4] TAVARES, Martha; Veiga, Rosário. *A conservação de rebocos antigos - restituir a coesão perdida através da consolidação com materiais tradicionais e sustentáveis* - VII SBTA, Recife, 2007

[5] TAVARES, Martha, MAGALHÃES, Ana, VEIGA, Rosário, VELOSA, Ana, AGUIAR, José - *Repair mortars for a maritime fortress of the XVII th century.* MEDACHS – 1St Int. Conf.erence Construction Heritage in Coastal and Marine Environments, Lisboa: LNEC, Janeiro 2008.

[6] MAGALHÃES, Ana Cristian. *Patologia de rebocos antigos.* Cadernos de Edifícios, nº 2. Lisboa: LNEC, Outubro 2002.

[7] VEIGA, M. Rosário; TAVARES, Martha. *Características das paredes antigas. Requisitos dos revestimentos por pintura,* Lisboa, APTETI, Outubro de 2002.

[8] FREITAS, V.P.; TORRES, M.I.; ASCENSÃO, A.; GONÇALVES, P.F. Tratamento da humidade ascensional na Igreja de Vilar de Frades. *Património Estudos, nº 3*, 2002, pp. 54-62.

MATERIAIS POROSOS INORGÂNICOS NO PATRIMÓNIO ARQUITECTÓNICO

Avaliação da Absorção Capilar

Paulina Faria*
paulina.faria@estbarreiro.ips.pt

Resumo

O património arquitectónico é um bem inestimável que devemos preservar, conservar e transmitir como legado para as gerações futuras. É constituído em grande parte por materiais porosos e inorgânicos. São os casos da pedra, da terra, dos materiais cerâmicos e das argamassas, utilizadas maioritariamente em alvenarias e em revestimentos.

Muitas vezes as características destes materiais têm de ser avaliadas com vista à determinação da sua eficiência e adequabilidade para o uso. Em termos de intervenções em que em não raros casos novos materiais têm de ser introduzidos, entre outras características que interessa avaliar, comparativamente às apresentadas pelos materiais originais, conta-se o comportamento face à água, relativamente à capilaridade. Face à especificidade dos materiais em questão, esta avaliação não deve ser efectuada do mesmo modo como se realiza para materiais para construção corrente.

Apresenta-se uma análise efectuada aos procedimentos de ensaio relativos ao projecto de norma para aferição da absorção por capilaridade, procurando complementá-los em termos de exequibilidade. Para o caso específico das argamassas com base em cal aérea, é realizada uma comparação genérica com os procedimentos e os resultados experimentais que seriam obtidos com uma análise segundo a norma europeia para o ensaio de argamassas correntes. Procura sensibilizar-se para como esses procedimentos podem alterar significativamente os resultados obtidos e a apreciação efectuada sobre os respectivos materiais.

Palavras-chave: Património arquitectónico, Material poroso, Argamassa de cal, Caracterização experimental, Capilaridade.

1 Introdução

A normalização existente ao nível da avaliação experimental de argamassas foi maioritariamente concebida para aplicação directa a argamassas de ligantes hidráulicos, para utilização genérica na indústria da construção. Esta situação

* Professora Coordenadora, Escola Superior de Tecnologia do Barreiro do Instituto Politécnico de Setúbal.

cria muitos problemas quando se pretendem avaliar argamassas realizadas com base em cal aérea [1], uma vez que nem o procedimento descrito para a preparação de provetes prismáticos consegue ser seguido [2]. Para a análise deste tipo de argamassas tem sido imprescindível o estabelecimento de protocolos de preparação de argamassas e provetes, e têm sido seguidos e desenvolvidos procedimentos de ensaio específicos, muitos deles com base em recomendações e normas desenvolvidas para o ensaio da pedra [3, 4, 5].

Em alternativa, a análise de características de argamassas para conservação é muitas vezes efectuada através da normalização europeia existente para argamassas correntes para alvenaria, desenvolvida pela Comissão Técnica 125 *"Masonry"* da Comissão Europeia para a Normalização (CEN). A norma EN 1015-18:2002 [6] define a metodologia para a determinação do coeficiente de absorção capilar de água de argamassas para alvenarias.

Muito recentemente, a Comissão Técnica 346 *"Conservation of Cultural Property"* do CEN preparou o documento provisório prEN 15801:2008 [7], relativo à metodologia de ensaio para a determinação da absorção capilar de materiais porosos inorgânicos. Estes materiais incluem a pedra natural e a terra, bem como materiais artificiais como as argamassas de ligantes minerais e os materiais de cerâmica de barro vermelho.

2 Absorção capilar segundo a prEN 15801

A prEN 15801:2008 [7] define a metodologia de determinação da quantidade de água absorvida por capilaridade através da superfície do provete que está em contacto com a água. Apresenta-se a metodologia, complementada por aspectos que se considera aferirem uma exequibilidade prática.

2.1 Material necessário

Segundo o projecto de norma, é necessário: papel de lixa com grão de 69 μm; uma estufa ventilada para a secagem dos provetes; um exsicador com sílica gel onde sejam estabelecidas condições de ambiente seco; um tabuleiro ou equivalente, de base rígida e plana, sobre a qual se coloca papel de filtro grosso ou um feltro geotéxtil; uma balança com precisão mínima de 0,01 g (embora para provetes de pequena massa seja ideal uma precisão de 0,001 g); um cronómetro; uma craveira com precisão de 0,05 mm; uma sala condicionada mantida à temperatura de 23 ± 1 °C. Considera ser ainda necessária uma caixa estanque onde possa ser criado ambiente saturado e onde o tabuleiro de ensaio e respectivos provetes possam estar inseridos (ou uma câmara climatizada).

2.2 Provetes

Os provetes devem possuir uma forma cúbica ou cilíndrica, com dimensões mínimas de 10 mm e tolerância de ± 1 mm. Devem ensaiar-se um mínimo de três provetes equivalentes em termos de forma, dimensões e eventuais camadas ou planos de orientação preferencial do material. Provetes de material mais heterogéneo devem ser em número e dimensão adequada. No caso de argamassas com agregados grossos, as dimensões mínimas devem ter 3 a 5 vezes a maior dimensão dos agregados. Podem utilizar-se provetes realizados para o ensaio ou provetes provenientes de recolhas *in situ*. Por exemplo nestes últimos casos, se o número e dimensões dos provetes for diferente, a descrição da forma, número e dimensões tem de ser convenientemente registada no relatório de ensaio. No caso, por exemplo de provetes de diferentes argamassas, realizados especificamente para o ensaio, há necessidade de estabelecer previamente e registar todos os procedimento relativos à execução das argamassas (sequência de junção de materiais, adições de água, amassadura, trabalhabilidade, preparação de moldes, compactação) e às condições de cura dos provetes.

A superfície dos provetes, a colocar em contacto com a água, deve ser lixada com papel abrasivo e perfeitamente plana. De acordo com a pré-norma, esse processo deve decorrer por via húmida, seguido de lavagem com água, escovagem e imersão em água deionizada durante 30 minutos. Em provetes de materiais sensíveis à água, casos de materiais com base em gesso (ou mesmo argamassas com base em cal), a norma prevê que apenas se utilize ar comprimido para a remoção do pó residual. Embora não esteja explícito, considera-se que, nesses casos, também a lixagem deva ser realiza a seco. Este processo não é aplicável em superfícies tratadas ou provetes recolhidos *in situ*, mas especialmente no caso corrente de provetes de argamassas realizados em moldes (que foram previamente untados com óleo para ajudar a descofragem), considera-se fundamental para uma correcta avaliação da absorção capilar do material.

Os provetes são então secos na estufa ventilada à temperatura de 60 ± 2 °C até atingirem massa constante (quando a diferença entre duas pesagens sucessivas com 24 horas de intervalo não for superior a 0,1% da massa do provete seco). Devem ser mantidos no exsicador até atingirem a temperatura de 23 ± 1 °C; a partir dessa situação pode dar-se início ao ensaio.

2.3 Procedimento de ensaio

Coloca-se o papel de filtro ou o feltro geotéxtil na base do tabuleiro e satura-se com água, sem que a água exceda a sua superfície superior. O nível de água tem de ser mantido constante ao longo do ensaio. É registada, em gramas, a massa seca de cada provete (m_o) e este é colocado com a superfície de ensaio (A, em m^2) em contacto com a água, iniciando-se a contagem do tempo. A massa de cada provete torna a ser aferida (m_i) em tempos de ensaio definidos

(t_i, em segundos), após ligeiro contacto da base de ensaio com um pano húmido e o provete é imediatamente colocado de novo em contacto com a água. Os tempos de aferição da massa definidos devem ser muito pouco espaçados, especialmente no início do ensaio, uma vez que este tipo de materiais porosos apresenta uma absorção inicial muito elevada que, de outro modo, não será convenientemente acompanhada. No entanto, também não podem ser tão pouco espaçados que reduzam o período de contacto do provete com a água. Os intervalos entre pesagens dependem do tipo de material e provete em ensaio (dimensões, estado, porosidade, tratamento superficial). Recomenda-se que se estabeleçam intervalos entre 3 e 5 minutos pelo menos enquanto se observa a subida do nível da frente de água nos provetes. A partir dessa altura pode alargar-se o intervalo de tempo entre pesagens. Sempre que possível, convém manter fechada a caixa estanque e onde se estabeleceu ambiente saturado, onde se recomenda que decorra o ensaio, de forma que não ocorra muita evaporação pelas faces laterais dos provetes (ou na câmara climática). Geralmente convém iniciar o ensaio de manhã, de modo a este poder prolongar-se com pesagens ao longo das horas de trabalho do dia. A partir do dia seguinte, bastará normalmente aferir a massa a cada 24 horas do início do ensaio. O ensaio é dado como terminado para cada provete quando a diferença entre duas pesagens sucessivas com intervalo de 24 horas for inferior a 1% da massa de água absorvida pelo provete, com um máximo de 8 dias.

Segundo a pré-norma, durante o ensaio e em provetes com uma altura significativa, a evolução da altura da frente de água por ascensão capilar pode ser aferida nas suas superfícies laterais. No entanto, e uma vez que geralmente a subida da frente capilar ocorre de forma bastante rápida e muitas vezes de forma não homogénea, não é fácil aferir mais de uma altura em cada provete. Por exemplo no caso de provetes prismáticos de argamassa com base em cal aérea, em que seria necessário aferir, entre pesagens, as medidas lineares no centro de cada face, a variação obtida terá muito mais a ver com a evolução da ascensão capilar ao longo do período de tempo em que decorre a medição (muito dificilmente quatro pessoas conseguiriam efectuar simultaneamente a medição em cada face), deixando de fazer sentido a procura de um valor médio. Deste modo e, por exemplo, para o caso citado, considera-se que se deve estabelecer uma face (por hipótese, a face correspondente à base do molde) e efectuar a avaliação aproximada da frente húmida apenas ao longo do seu eixo longitudinal H_i (em centímetros). Obviamente nessa face ocorrerá alguma influência da moldagem mas seria, à partida, semelhante entre provetes. É ainda de registar a maior dificuldade em efectuar esta avaliação em locais pouco iluminados, dentro da caixa estanque e em provetes de materiais escuros.

2.4 Expressão dos resultados

A quantidade de água absorvida pelo provete por unidade de área Q_i no instante t_i é:

$$Q_i = (m_i\text{-}mo)/A \qquad [g/m^2]$$

em que m_i, m_o e A foram definidos anteriormente.

Os valores de Q_i são registados num gráfico, função da raiz quadrada do tempo. A quantidade total de água absorvida pelo provete por unidade de área é o valor assintótico representado no gráfico e permite avaliar a absorção máxima de cada material (em provetes de dimensões idênticas). O coeficiente de absorção capilar AC é obtido do gráfico, pelo declive da secção linear mais representativa no início do ensaio, em $g/m^2.s^{1/2}$. É determinado por regressão linear, utilizando pelo menos cinco pontos sucessivos. O coeficiente de penetração capilar B é representado pelo declive do troço inicial do gráfico obtido com a altura da frente de água, função da raiz quadrada do tempo, em $cm/s^{1/2}$, calculado por regressão linear. Os valores são obtidos para cada provete e, resultado do ensaio dos vários provetes de cada amostra de material em análise, são registados os respectivos valores médios e desvios-padrão.

3 Comparação com o procedimento da EN 1015-18

O procedimento de ensaio descrito na EN 1015-18:2002 [6] para avaliação da absorção capilar em prismas de argamassa apresenta várias diferenças relativamente ao do projecto de norma anterior. De entre elas, podem referir-se como as mais significativas: o facto das faces longitudinais do provete serem impermeabilizadas; utilizarem-se obrigatoriamente meios provetes e a face de contacto com a água não corresponder ao topo; os provetes terem uma cura inicial (primeiros sete dias) em ambiente muito húmido; no tabuleiro de ensaio, os provetes ficarem apoiados em quatro apoios e imersos em água 5 a 10 mm; no caso geral de argamassas, a avaliação do acréscimo de massa por absorção capilar ser realizada aos 10 e aos 90 minutos de ensaio, dando-se logo o ensaio por terminado; mais nenhuma determinação ser efectuada.

Embora o coeficiente de absorção capilar seja expresso em unidades distintas (que são facilmente convertidas), tal situação é irrelevante face às diferenças reais relatadas ao nível do procedimento de ensaio propriamente dito. A diferença relativa à selagem das faces laterais é importante mas considera-se especialmente desajustado que o coeficiente de absorção capilar resulte da diferença de massas entre os 10 e os 90 minutos de ensaio. Isto porque em provetes de argamassas com base em cal aérea, muito capilares, aos 10 minutos já ocorreu parte muito significativa da absorção capilar. Assim, dos 10 aos

90 minutos já não se vai registar o segmento de recta inicial e mais representativo da curva que expressa a quantidade de água absorvida por unidade de área, em função do tempo, de declive superior, mas sim outro, de inclinação bem menos acentuada. Esta situação será particularmente importante aquando da realização de análises comparativas entre argamassas porosas mas com comportamento substancialmente distinto ao nível da absorção capilar (que, por análise experimental inadequada, poderia parecer irrelevante).

4 Conclusões

Embora o estabelecimento dos procedimentos para avaliar a absorção capilar de materiais porosos esteja ainda numa fase preliminar (projecto de norma) considera-se que permitem aferir e questionar desde já os procedimentos que têm vindo a ser utilizados para a avaliação de argamassas com base em cal e os resultados obtidos. Excepção feita a aspectos relativos à preparação dos provetes de argamassas, considera-se que os outros aspectos frisados em complemento à prEN 15801 [7] podem ser adoptados na análise de outros tipos de materiais porosos inorgânicos.

5 Bibliografia

[1] Faria, P. *et al. Comparative evaluation of lime mortars for architectural conservation.* J. Cultural Heritage IX, 3 (2008), 338-346.

[2] CEN, EN 1015-11:1999/A1:2006, Methods of test for mortar for masonry. Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar.

[3] DEC/FCT, Fichas de ensaio de argamassas. UNL, 1996 a 2006.

[4] RILEM, Commission 25 – PEM, *Essais recommandés pour mesurer l'alteration des pierres et évaluer l'efficacité des méthodes de traitement.* Materiaux et Constructions 13 (75), 1980.

[5] IPQ, NP EN 1925:2000, Métodos de ensaio para pedra natural. Determinação do coeficiente de absorção de água por capilaridade.

[6] CEN, EN 1015-18:2002, Methods of test for mortar for masonry. Part 18: Determination of water absorption coefficient due to capillary action of hardened mortar.

[7] CEN, prEN 15801:2008, Conservation of cultural property. Test methods. Determination of absorption by capillarity.

PROCESSOS TRADICIONAIS DE EXECUÇÃO DE UMA ARGAMASSA

Cal Viva Extinta com a Areia

Maria Goreti Margalha[*]
m.goreti@netvisao.pt

Maria do Rosário Veiga[†]
rveiga@lnec.pt

Jorge de Brito[‡]
jb@civil.ist.utl.pt

Resumo

O efeito de maturação em argamassas preparadas segundo um processo tradicional de extinção da cal viva em pedra conjuntamente com a areia foi avaliado. As argamassas preparadas com cal viva foram mantidas em traço, húmidas, durante o tempo de maturação de 7, 45 e 90 dias. Depois de moldados os provetes foi estudado o seu comportamento mecânico e à água, aos 28, 90 e 360 dias. A porosimetria e a observação em microscópio ambiental de varrimento foram efectuadas em algumas das argamassas preparadas. Desta forma ficaram-se a conhecer as vantagens e desvantagens deste processo, tendo-se verificado que há uma influência do tempo de maturação muito positiva sobre as resistências mecânicas, a susceptibilidade à fendilhação e a absorção de água por capilaridade.

Palavras-chave: Argamassas, Cal Viva, Extinção, Maturação.

1 Introdução

Até ao séc. XX, as cais utilizadas em obra eram-no preferencialmente sob a forma de pasta. Após a transformação da rocha em cal, esta era armazenada de uma forma que não perdesse as suas características. Outro método tradicional utilizado, de que há memória oral, foi a extinção da cal conjuntamente com a areia. Os registos revelam que este ligante era adicionado em traço com a areia e a argamassa ficava húmida, durante o tempo necessário, sendo utilizada à

[*] Engª civil, CMB.
[†] Engª civil- Investigadora principal, LNEC.
[‡] Engº Civil- Professor, IST.

medida que a obra ia evoluindo, com a junção de água suficiente para conferir a consistência necessária à sua aplicação [1-5]. A evolução nos processos de armazenamento dos materiais levou a alterar estes procedimentos, sendo hoje, na maioria dos casos, os ligantes utilizados sob a forma de pó.

No presente trabalho estudou-se o processo de extinção da cal conjuntamente com a areia e o efeito do tempo de maturação nas características da argamassa em pasta e endurecida.

2 Materiais

Os ensaios foram realizados sobre argamassas de cal aérea calcítica e areia siliciosa com o traço (proporções volumétricas) de 1 ligante : 3 agregado, com os tempos de maturação de 7, 45 e 90 dias.

2.1 Cal e areia

A cal utilizada, de origem industrial, foi proveniente de um calcário com uma elevada percentagem de carbonato de cálcio, 99,5%. As características químicas da cal são apresentadas no Tabela 1.

Tabela 1: Composição química da cal (em % e normalizadas para 100%).

SiO_2	CaO	Al_2O_3	SO_3	Fe_2O_3	P.R.*
0,2	71,9	0,1	0,2	0,03	27,6

*Perda ao rubro determinada por termogravimetria entre as temperaturas de 20ºC a 1000 ºC.

A cal viva utilizada, C1, foi partida em fábrica, apresentando grãos de dimensão uniforme com, aproximadamente, 5 cm. Após alguns ensaios prévios, medindo o aumento de volume após hidratação da cal, tomou-se como valor de referência para a massa volúmica da cal viva em pedra metade da massa volúmica da cal hidratada em pó, considerando assim que há um aumento de volume para o dobro quando a cal viva é extinta (Figura 1). Sendo assim, foi tomado como referência o valor de massa volúmica de 333.85 kg/m^3 para o cálculo das quantidades de materiais a adicionar na preparação das argamassas.

Com a mistura das areias, 1/3 A1+ 2/3 A2, obteve-se uma curva granulométrica com uma proporção equilibrada de grãos grossos e finos, considerada apropriada para argamassas de revestimento (Figura 2).



Figura 1: Avaliação da massa volúmica da cal viva (1 medida de cal em pedra deu origem a cerca de 2 medidas de cal em pó).

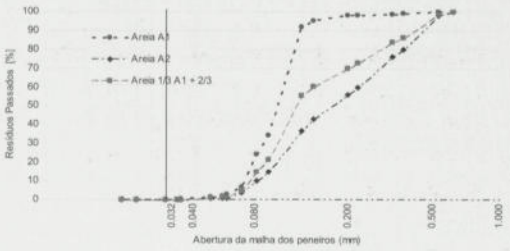


Figura 2: Curvas granulométricas dos agregados.

2.2 Argamassa de cal em pedra com um traço volumétrico aproximado de 1 cal : 3 areia

A cal viva (CaO) foi incorporada na mistura de areias que foram utilizadas secas. As quantidades de materiais adicionados estão expressas na Tabela 2. À mistura foi sendo posteriormente adicionada água em pequenas quantidades para garantir que a cal hidratava, com a transformação do óxido de cálcio em hidróxido de cálcio $Ca(OH)_2$.

Tabela 2: Quantidades de materiais adicionados (proporção volumétrica).

Materiais	Cal viva C1	Areia A2	Areia A1
Densidade (kg/m^3)	333,85	1 485,40	1 452,40
Materiais adicionados (kg)	6,25	55,62	27,19

A mistura foi preparada e mantida num recipiente, em condições ambientais não controladas. A argamassa foi mantida húmida para evitar a carbonatação da cal.

3 Ensaios de caracterização

Para caracterizar as argamassas foi seleccionado um grupo de ensaios, baseados em normas europeias, que se consideraram representativos do seu comportamento mecânico e à água.

As argamassas foram preparadas de acordo com a norma EN 1015-2 [6] e os provetes foram acondicionados num ambiente caracterizado por 50 ± 5% de humidade relativa e temperatura de 23 ± 2 °C, até serem desmoldados aos 3 dias, mantendo-se ainda no mesmo ambiente até ao final dos ensaios.

4 Resultados dos ensaios

A Tabela 3 resume os resultados obtidos com as argamassas em pasta.

Tabela 3: Resultados dos ensaios das argamassas em pasta.

Argamassa	A 1.1	A 1.2	A 1.3
Tempo de maturação (dias)	**7**	**45**	**90**
Água adicionada em 3 kg de massa (ml)	250	250	250
Espalhamento (mm)	131	130	138
Densidade (kg/m^3)	1 959	1 968	1 972

A maturação da mistura teve um efeito positivo na trabalhabilidade da argamassa. De acordo com alguns autores o aumento da trabalhabilidade com o tempo de maturação relaciona-se com a morfologia e com a dimensão dos cristais de portlandite que diminuem de tamanho e modificam a sua forma [7, 8]

Os resultados das argamassas endurecidas mostram uma tendência de melhoria do comportamento mecânico e à água pelo efeito do amadurecimento da pasta (Tabela 4).

Tabela 4: Resultados dos ensaios das argamassas endurecidas.

Argamassa	A 1.1	A 1.2	A 1.3
Tempo de maturação (dias)	**7**	**45**	**90**
Módulo de elasticidade (MPa) 28 dias	3 060	3 410	3 490
Módulo de elasticidade (MPa) 90 dias	3 300	3 467	3 990
Módulo de elasticidade (MPa) 360 dias	4.464	3.756	4.021
Resistência à flexão (MPa) 28 dias	0,40	0,53	0,50
Resistência à flexão (MPa) 90 dias	0,70	0,63	0,63
Resistência à flexão (MPa) 360 dias	0,50	0,53	0,50
Resistência à compressão (MPa) 28 dias	0,65	0,90	1,10
Resistência à compressão (MPa) 90 dias	1,03	1,10	1,35
Resistência à compressão (MPa) 360 dias	0,80	0,96	1,10
Capilaridade (kg/m^2.min½) 28 dias	2,31	2,09	1,84
Capilaridade (kg/m^2.min½) 90 dias	2,66	1,89	1,90
Capilaridade (kg/m^2.min½) 360 dias	1,92	2,00	1,56
Permeabilidade ao vapor de água (ng/m.s.Pa) 90 dias	26,80	30,86	30,97
Esp. da camada de ar de difusão equiv. (m) 90 dias	0,07	0,06	0,06

Esta tendência é bastante evidente nos resultados das resistências à compressão.

O tempo em que a mistura se manteve húmida teve também um efeito positivo na absorção de água por capilaridade, que ocorre de uma forma mais lenta

nas argamassas com mais tempo de maturação, o que se traduz em coeficientes de capilaridade inferiores.

No estudo efectuado sobre as variações dimensionais, o comportamento das argamassas preparadas com um tempo de maturação de 7 e 45 dias foi bastante semelhante, verificando-se uma melhoria significativa na argamassa preparada com 90 dias de maturação (Figura 3). Da análise deste gráfico verifica-se ainda que, em todas as argamassas estudadas, há uma estabilização nos valores da variação dimensional aos 7 dias.

Os ensaios de porosimetria por intrusão de mercúrio foram estudados nas argamassas com 7 e 90 dias de maturação nas gamas de 4,67622 a 0,00235 μm, revelando estruturas porosas com raios de poros variáveis entre 0,01 μm e 1 μm, como é habitual em argamassas de cal aérea [9] (Figura 4). Nesta gama, a porosidade total da argamassa com mais tempo de maturação, diminuiu, tal como a concentração de poros com raios muito próximos. Verifica-se assim uma maior compacidade desta argamassa, o que explica também a sua massa volúmica superior e a menor taxa de absorção de água por capilaridade.

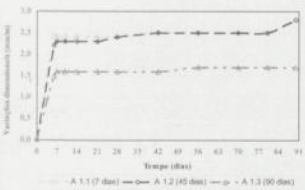


Figura 3: Gráfico comparativo da evolução das variações dimensionais.

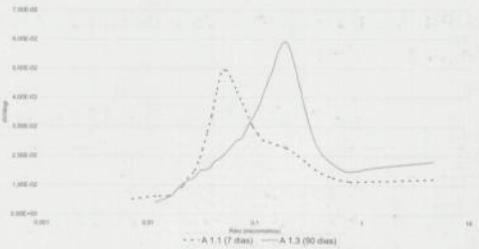


Figura 4: Gráfico comparativo da porosimetria.

A observação das argamassas em microscópio electrónico de varrimento (MEV) permitiu observar a sua microestrutura que confirmou estruturas mais densas na argamassa preparada com mais tempo de maturação (Figuras 5 e 6).

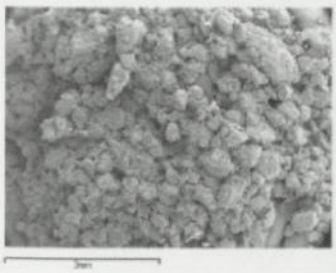


Figura 5: Aspecto da argamassa A 1.1 onde se visualiza uma microestrutura muito porosa.

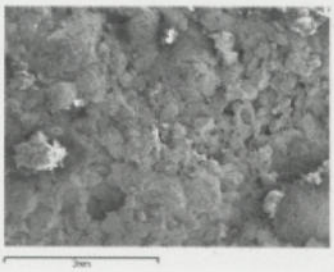


Figura 6: Aspecto da argamassa A 1.3. que apresenta uma microestrutura menos porosa.

5 Considerações finais

A utilização de argamassas de cal em recuperação de edifícios antigos é adequada na medida em que foi este o ligante aplicado durante a execução da obra e é o mais compatível com as alvenarias.

O processo de extinção da cal viva em pedra com a areia, mantendo húmida a pasta, parece ter sido muito utilizado como forma de prevenir que a cal perdesse qualidades com o tempo.

Concluiu-se, com os ensaios realizados, que as propriedades das argamassas melhoram pelo efeito de maturação da pasta, obtendo-se resultados mais favoráveis tanto do ponto de vista mecânico, como no comportamento à água.

6 Bibliografia

[1] Carrington, D., Swallow P. *Limes and lime mortars- Part two,* Journal of Architectural Conservation, *1996. pp. 7-22.*

[2] Margalha M.G. *Lime renders in Southern Portugal*, 5th International Masonry Conference, No. 8, British Masonry Society, London, 1998. pp. 125-130.

[3] Veiga, R. *et.al. Conservação e renovação de revestimentos de edifícios antigos*, CED 9, LNEC, Lisboa, 2004.

[4] Malinowski E S *Historic mortars revived*, International RILEM Workshop - Repair Mortars for Historic Masonry, Faculty of Civil Engineering Geosciences (University of Technology) / RILEM, Delft, 2005.

[5] Hughes J, *et. al. Compressive and flexural strength testing of brick masonry panels constructed with two contrasting traditionally produced lime mortars*, International RILEM Workshop - Repair Mortars for Historic Masonry, Faculty of Civil Engineering Geosciences (University of Technology) / RILEM , Delft, 2005.

[6] EN 1015-2 (1998) Bulk sampling of mortars and preparation of test mortars, CEN, Brussels, October

[7] Hansen E.F., *et. al. Effects of ageing on lime putty*, International RILEM Workshop- Historic Mortars: Characteristics and Tests, 2000, pp. 197-206.

[8] Hansen E.F., *et. al. Variations in high-calcium lime putty and mortar properties resulting from the use of freshly-slaked quicklime and commercial dry hydrated lime*, International Building Lime Symposium, Orlando, USA, 2005.

[9] Magalhães A. C., *et. al. Application of some methods on evaluation of porous systems of wall renderings*, VII International Congress on rehabilitation of heritage and buildings, Lanzarote, paper 109, 2004.



SESSÃO XXV

ESTRATÉGIA E INCENTIVOS / CUSTOS

REHABILITAR PARA REDUCIR EL CONSUMO ENERGÉTICO

Marta Molina Huelva*
martamolina@coag.es

Resumen

En la actualidad se hace necesario igual que se está haciendo en edificios de nueva construcción, proponer una serie de medidas y criterios de rehabilitación de edificios existentes para reducir el consumo energético, que ya sea por problemas derivados del diseño arquitectónico y/o constructivo, por la calidad de la edificación o por patologías es muy elevado.

Además hay que adaptar los edificios existentes a las nuevas exigencias normativas relativas al ahorro energético. Con la entrada en vigor en España del Código Técnico de la Edificación en 2006, la aprobación del RD 47/2007 de certificación energética de edificios de nueva construcción y normativas locales y autonómicas, nos encontramos en una situación de novedades y constantes cambios del marco normativo para el ahorro de energía y potenciar una edificación sostenible.

En esta ponencia se presenta la problemática existente y algunas prácticas constructivas propuestas a considerar con esta finalidad.

Este estudio forma parte del Proyecto de Investigación "Aspectos constructivos y estructurales a considerar en la rehabilitación de viviendas en Andalucía para el ahorro energético" que desarrolla en la actualidad el autor, financiado por la Dirección General de Arquitectura y Vivienda de la Consejería de Vivienda y Ordenación del Territorio, de la Junta de Andalucía en convocatoria 29/07/2007 de subvenciones para actividades de investigación en materia de arquitectura y vivienda.

Palabras clave: Rehabilitación, Ahorro Energético, Patologías Constructivas.

1 Introducción

En la actualidad nos encontramos en un momento de gran impulso de las energías renovables, del ahorro y de la eficiencia energética, con la idea de alcanzar una disminución de gases contaminantes a la atmósfera y frenar el conocido cambio climático. Consecuencia de esta situación son los continuos cambios que se están produciendo en la Normativa de Edificación enfocados al ahorro energético y a la eficiencia energética de edificios de nueva construc-

* Dr. Arquitecto. CESUGA – University College Dublin. Bachelor of Architecture. A Coruña, España.

ción con medidas relacionadas sobre todo con el uso de energías alternativas y el aislamiento térmico.



Figura 1: Fachada de un edificio de viviendas.

Existen consideraciones constructivas de aplicación en la fase de proyecto de un edificio encaminadas a una arquitectura sostenible y a un ahorro de energía como son la orientación, la ventilación, el tamaño y la disposición de huecos, la protección solar pasiva, la generación de patios, etc.

En cuanto a los materiales señalar el fomento de materiales que dispongan de distintivos de garantía de calidad ambiental, potenciar el uso de soluciones constructivas que reduzcan o faciliten el mantenimiento, emplear materiales de larga durabilidad, promocionar el reciclaje de materiales, etc [1].

Sin embargo, en el caso de edificios ya existentes y en una actuación de rehabilitación, son diferentes las medidas a proponer para conseguir estos nuevos retos (Figura 1).

2 Marco normativo

Desde el acuerdo del Protocolo de Kioto [2] se han tomado medidas de reducción de emisiones de gases contaminantes. En concreto, en el sector de la edificación la aprobación de la Directiva de Eficiencia Energética de los edificios 2002/91/CE [3] ha sido el comienzo de un nuevo planteamiento y de nuevas medidas para el ahorro energético.

Con la entrada en vigor en España del Código Técnico de la Edificación (CTE) en 2006 [4], y la aprobación del Real Decreto 47/2007 de la certificación energética de edificios de nueva construcción [5], nos encontramos en una situación de novedades y cambios constantes del marco normativo para ahorrar energía y potenciar una edificación sostenible.

Reducir la demanda energética es el primer paso para reducir las emisiones de CO_2 (protocolo de Kioto), por el que se pretende reducir las emisiones de gases de efecto invernadero entre 2008 y 2012 respecto a valores del año 1990.

En estos momentos está pendiente la publicación de la nueva normativa sobre el Procedimiento de Certificación Energética de EDIFICIOS EXISTENTES (Borrador RD 13/06) [6], que está previsto contenga medidas y posibles soluciones constructivas para mejorar la calificación energética de los edificios existentes. Según establece la Directiva 2002/91/CE [3] se propone un procedimiento de certificación energética de edificios ya existentes que complementa al RD 47/2007 de edificios de nueva construcción [5].

3 Rehabilitación de edificios existentes

Es necesario, igual que se está haciendo con edificios de nueva construcción, proponer una serie de medidas y criterios de actuación para edificios ya construidos. El problema que se plantea en estos momentos es qué hacer con estos edificios cuyo consumo energético es muy elevado, bien sea por problemas derivados del diseño arquitectónico y/o constructivo, por la calidad de la edificación, por el deterioro de los materiales o por patologías constructivas.

Por lo tanto hay que abordar los problemas de eficiencia energética mediante intervenciones de mayor o menor envergadura según las pérdidas detectadas.

Las consideraciones sobre ahorro energético en Rehabilitación pueden establecerse en sí mismas o como consecuencia de otras intervenciones, por ejemplo, por defectos en el proceso edificatorio o aparición de patologías constructivas. Para la aplicación a edificios existentes, las prácticas constructivas irían enfocadas según las siguientes actuaciones [7]:

— Aislamiento de cubiertas: ahorro energético en torno al 3 al 7% en todas las zonas climáticas, en función de la superficie;

— Aislamiento de fachadas: ahorro energético en torno al 2 - 12% en zonas cálidas y de un 4 a un 16% en zonas frías;

— Sustitución de carpinterías exteriores e incorporar medidas de protección solar y aislamiento: ahorro de hasta un 4-11% en zonas frías, un 4-10% en zonas templadas y un 2-6% en zonas cálidas;

— Medidas encaminadas al ahorro de agua (sistemas separativos, contadores, ...);

— Empleo de luminarias de bajo consumo: ahorros del orden del 25-80% en gasto de electricidad.

Una rehabilitación teniendo en cuenta estos aspectos supondría un ahorro considerable de energía (Figura 2).



Figura 2: Edificio de viviendas.

Aunque se está teniendo en cuenta en las actuaciones de rehabilitación, y cada vez más, materiales "ecológicos", reciclables y consideraciones con el medio ambiente, sin embargo, algunos aspectos deben ser mejorados. Entre éstos se encuentran la elaboración de propuestas que contemplen criterios constructivos de sostenibilidad y ahorro energético dentro del nuevo marco normativo y que considere métodos de evaluación de las soluciones constructivas para mejorar su comportamiento.

En España se han propuesto medidas de apoyo e incentivos para la rehabilitación energética de edificios existentes que han generado un gran interés y está comenzando a sensibilizar la opinión pública. Señalar el Plan de Acción 2008-2012 de la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética. Especifica me-

didas para el sector de la edificación, ente las que destaca la Medida nº1, en la que se establecerán condiciones en la reforma y rehabilitación de edificios para reducir la demanda energética mediante la rehabilitación de la Envolvente Térmica, con 175 millones de euros como apoyo público. Otra de las medidas es la nº4 en la que se valorarán los edificios que alcancen una certificación energética elevada, promoviendo la rehabilitación de edificios existentes para obtener una calificación energética clase A o B. Son 208 millones de euros como apoyo público y se espera tener un ahorro asociado total de 2 millones de toneladas equivalentes de petróleo en energía primaria y de 5,32 millones de toneladas de CO_2 en reducción de emisiones.

4 El Aislamiento térmico en la rehabilitación de edificios

Una de las medidas más importantes en edificios "antiguos" es la mejora del aislamiento térmico. El aislamiento regula el intercambio energético entre el interior y el exterior disminuyendo las transferencias térmicas por transmisión de calor. En el caso de una vivienda estándar, con un aislamiento térmico adecuado en la envolvente del edificio, con la eliminación de puentes térmicos, dobles acristalamientos en un 25% de la fachada con cámara de aire se puede ahorrar hasta un 27% en calefacción. Esta reducción implica un 11% menos de energía y un 9% menos de emisiones de CO2 total [9].

Según los fabricantes de aislamiento térmico (Andimat) [7] se calcula que en una vivienda bien aislada, con un ciclo de vida de 50 años, se ahorra en energía el equivalente al gasto en materiales de construcción que se empleó en la ejecución.

Una posible intervención consiste en el sistema de aislamiento térmico por el exterior (sistema SATE), que consiste en la mejora de la envolvente térmica del edificio, fachadas y cubiertas. Como ejemplo de esta aplicación la que se llevó a cabo en un barrio degradado en Ludwigshafen, Alemania, donde se rehabilitaron edificios de viviendas hasta llegar incluso a un CONSUMO CERO energético y a un ahorro TOTAL de costes de calefacción [10].

5 Conclusiones

Como conclusión señalar que es necesario proponer soluciones constructivas para la rehabilitación de edificios ya existentes y que presenten deficiencias de ahorro energético, ya sea por patologías edificatorias, por escaso o nulo mantenimiento, por defectos de materiales o por falta de calidad en el proceso constructivo y aportar criterios que consideren las condiciones térmicas y climatológicas.

6 Agradecimientos

Este trabajo es parte del proyecto de investigación "Aspectos constructivos y estructurales a considerar en la rehabilitación de viviendas en Andalucía para el ahorro energético" (2008 - 2010) que desarrolla en la actualidad el autor, financiado por la Dirección General de Arquitectura y Vivienda de la Consejería de Vivienda y Ordenación del Territorio, de la Junta de Andalucía en la convocatoria de Subvenciones para Actividades de Investigación en materia de arquitectura y vivienda según Resolución del 12/06/2007.

7 Bibliografía

[1] Perez, I. *Hacia una arquitectura sostenible. En busca de un sentido común.* Valencia: B. Sauer, 2005.

[2] Protocolo de Kioto. *Protocolo de la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático*. Naciones Unidas, Kioto. 1997.

[3] Parlamento Europeo. *Directiva DEEE 2002/91/CE relativa a la eficiencia energética,* 2002.

[4] Ministerio de la Vivienda. *Código Técnico de la Edificación*. 2006.

[5] Ministerio de la Presidencia. *RD 47/2007 del procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción,* 2007.

[6] Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. *Proyecto de R.D. por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios existentes* (13/06/2008, pendiente de aprobación).

[7] Lloansi, A. *Aislamiento Térmico para la rehabilitación de edificios*, Andimat. Jornada celebrada en Madrid sobre la presentación de guías técnicas para rehabilitación de la envolvente térmica, IDAE, 2008.

[8] Institut Cerda. *Proyecto RehEnergia*. 2006-2008.

[9] Edwards, B. *Guía básica de la sostenibilidad*. Barcelona: GG, 2008.

[10] Luna, F. *Sistema aislamiento térmico exterior. Basf Española.* II Congreso Nacional de Aislamiento Térmico y Acústico, Madrid, Octubre 2008.

DESARROLLO DE UN SISTEMA PARA EL INVENTARIO Y EVALUACIÓN DE VIVIENDAS Y CARRETERAS DAÑADAS EN MÉXICO

Dr. Francisco Alberto Alonso Farrera[*]
alfa@unach.mx

Dr. José Angel Ortiz Lozano[†]
aortiz@correo.uaa.mx

Dr. Joan Ramon Casas Rius[‡]
joan.ramon.casas@upc.edu

Dr. J. Ernesto Castellanos Castellanos[§]
jecc@unach.mx

M.I. José Francisco Grajales Marín[**]
marinj@unach.mx

ISC. Marisol Magaña Aguilar[††]
mmagagui@gmail.com

Resumen

En este proyecto se desarrolló un sistema para el control del inventario de viviendas y carreteras dañados con la finalidad de contar con una base de datos con las características observadas en campañas de inspección, usando un modelo para la evaluación del estado de condición que se aplica a los elementos cuyo deterioro puede afectar de manera directa a la estructura al momento de evaluar su estado de condición. Los elementos que pueden incidir en el cambio de un estado de condición a otro en este modelo propuesto son las observaciones de la superestructura y subestructura.

Palabras clave: Estado de Condición, Inventario, Evaluación, Viviendas y Carreteras.

1 Introducción

La única forma de conocer el estado de condición actual en que se encuentra una estructura y con ello poder evaluar cada uno de los elementos de la misma (cimentación, subestructura, superestructura, equipamientos, etc.) es mediante un programa de inspecciones.

La inspección es una actividad compleja, que debe realizarse en forma organizada y sistemática, ya que de ella dependen las recomendaciones para

[*] Profesor-Investigador de la Universidad Autónoma de Chiapas, México
[†] Profesor-Investigador de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, México
[‡] Profesor-Investigador de la Universidad Politécnica de Cataluña, España
[§] Profesor-Investigador de la Universidad Autónoma de Chiapas, México
[**] Profesor-Investigador de la Universidad Autónoma de Chiapas, México
[††] Ingeniero del Instituto Tecnológico de Morelia, México

corregir los defectos, señalar restricciones de carga y para minimizar la posibilidad de pasar por alto algunas deficiencias que pueden convertirse en daños severos si no son reparados a tiempo.

El objetivo fundamental de evaluar el estado de condición de una estructura es el de proporcionar a las autoridades responsables de su mantenimiento la apreciación de la situación actual de la misma, además de proporcionar datos sobre la intensidad y extensión de los defectos o daños observados, la causa que los puede producir y el posible proceso de deterioro y el impacto de los mismos en la seguridad y en la vida de servicio útil de la estructura.

Este sistema de inventario se está aplicando en la Capital del estado de Chiapas y se pretende implantar en otras ciudades del estado y de la República Mexicana con la finalidad de que cuenten con una propuesta digital para el seguimiento, evaluación y aplicación de acciones de mantenimiento en su infraestructura.

2 Inspección y Evaluación de Estructuras

Debido a que la apreciación visual representa una parte muy importante dentro del proceso de inspección de una estructura, la información recabada en la inspección visual es de vital importancia. Asimismo, mediante la inspección visual se puede conocer el estado general de los daños en la estructura en cuanto a apariencia, tipos de fisuras y/o agrietamientos, longitud, abertura y profundidad de las mismas, áreas afectadas, medición de deformaciones, medición de asentamientos, entre otros. En este sentido, la tarea de la inspección visual debe de estar soportada por un formato de inspección adecuado, incluyendo la información mínima necesaria para posteriormente realizar una correcta evaluación del estado de condición de una estructura.

En este trabajo se desarrolló un formato de inspección para estructuras tipo edificación y carreteras, clasificando en dicho formato cada elemento estructural que compone o forma parte de toda la estructura en su conjunto.

Cuando el problema que produce el deterioro se encuentra bien definido, se puede proponer y ejecutar un tratamiento eficiente al defecto o daño que presente la estructura. Para cada uno de ellos se han desarrollado diferentes tipos de acciones de reparación o rehabilitación y estas acciones se proponen dependiendo de las posibilidades tecnológicas con que se cuente, así como también de los requerimientos necesarios para proporcionar la mayor seguridad a los usuarios, garantizar la vida útil de la estructura, los requerimientos operacionales durante la reparación o rehabilitación y el presupuesto disponible para cada una de las acciones a desarrollar.

Los objetivos principales que se proponen para llevar a cabo una evaluación del estado de condición de una estructura son los siguientes [1]:

— Detectar los posibles procesos de deterioro;

— Proporcionar un indicador de la condición de la estructura y de sus elementos;

— Optimizar los presupuestos asignados a mantenimiento urgente.

3 Sistema de Gestión de Estructuras

La gestión de estructuras, como concepto, se desarrolló a finales de los sesenta y fue establecida en la forma de una sistematización de los procesos de mantenimiento consistentes en la inspección, evaluación de la condición, la valoración de la capacidad, planeamiento del mantenimiento y reparación/refuerzo óptimo [2].

El principio básico de los sistemas de gestión de estructuras (viviendas y carreteras) es proporcionar seguridad a los usuarios, asegurar la accesibilidad en las mismas y proponer acciones óptimas de mantenimiento y/o rehabilitación.

Para que un sistema sea bueno tanto técnica como económicamente se deben definir, establecer e implementar un sistema de inspección y además desarrollar un sistema informático como una herramienta para manejar toda la información almacenada en una base de datos (inventario).

Cada sistema debe estar compuesto de varios módulos, los cuales pueden ser utilizados dependiendo de las demandas y deseos de los usuarios y de sus capacidades técnicas, para actualizar datos ya adquiridos y para almacenar datos nuevos o adicionales.

Los objetivos que se plantean conseguir con el sistema a desarrollar que se denominará SIEVP (Sistema de Inventario y Evaluación de Viviendas y Carreteras) son los siguientes:

— Contar con una base de datos actualizada de viviendas y carreteras deterioradas;

— Proporcionar una herramienta para la toma de decisiones a nivel gerencial;

— Optimizar las acciones de mantenimiento y rehabilitación para la asignación de recursos particulares y estatales.

4 Desarrollo del Sistema

El sistema fue desarrollado en Visual Fox y se dividió en dos módulos, el de viviendas y el de carreteras (Figura 1) y se consideró para su diseño formularios y campos que cumplieran con las especificaciones de requerimiento tan-

to de los formatos de inspección como del modelo de evaluación del estado de condición.

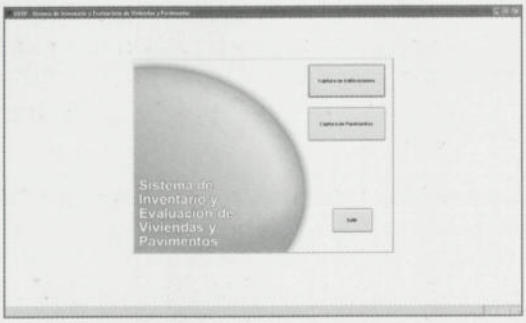


Figura 1: Pantalla principal del sistema.

Para cada módulo se tienen los siguientes submódulos (Figura 2):

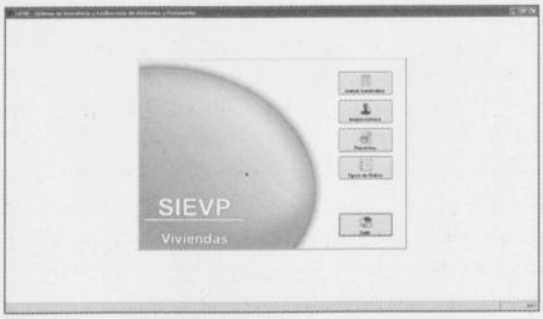


Figura 2: Submódulos del Sistema.

1) Datos Generales: Contienen los datos generales de la vivienda o pavimento.
2) Inspecciones, permite registrar la fecha de inspección, las observaciones al funcionamiento tanto de la superestructura como de la subestructura y evaluar el estado de condición de la estructura (Figura 3).

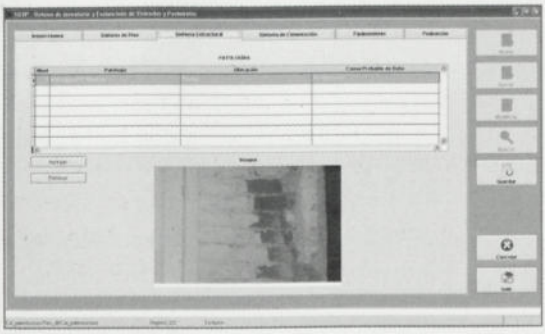


Figura 3: Pantalla de captura de observaciones al funcionamiento.

3) Reportes, Genera reportes de diferentes características con la información de las diferentes viviendas e inspecciones registradas con anterioridad.
4) Tipos de Datos, Permite agregar datos (material de cimentación, patologías, inspectores, etc.) que se podrán usar posteriormente tanto en el registro de nuevas viviendas e inspecciones.

En el sistema se evalúa el estado de condición de la vivienda o carretera empleando la siguiente expresión:

$$IEC = 5(P_L F_L + P_V F_V + P_M F_M + P_C F_C + P_{CC} FC_{CC} + P_{SB} F_{SB})$$

donde:

P — Porcentaje de daño en losas (L), Vigas(V), Muros (M), Columnas (C), Cimentación (CC) y otros elementos de subestructura (SB).

F — Factor de importancia del daño en losas(L), Vigas(V), Muros (M), Columnas (C), Cimentación (CC) y otros elementos de subestructura (SB).

Los índices estructurales mencionados anteriormente con los que se evaluará el estado de condición de la estructura y que se determinan para cada elemento estructural se refieren a [3]:

1) El porcentaje de daño de las observaciones de deterioro en los elementos al momento de la inspección, evaluadas con respecto a la estabilidad general de la estructura, dado por el inspector al momento de desarrollar la evaluación de la estructura, y
2) El factor de importancia del daño que tiene el elemento estructural con respecto a los otros elementos estructurales en que se divide el edificio, el cual es calculado mediante un proceso estadístico que toma en cuenta el porcentaje de estructuras dañadas que presentan un tipo de daño en cada elemento y la incidencia de éste en relación con la estructura en general.

Con el valor dado por la expresión, se clasifica a la estructura analizada en los cinco estados siguientes: Bueno (0.00-3.75), Aceptable (3.75-7.50), Regular (7.50-11.25), Malo (11.25-15.00) y Dañado (>15.00). Estos valores fueron determinados tomando en cuenta un análisis estadístico realizado en investigaciones anteriores en viviendas dañadas.

En la capital del Estado de Chiapas, el sistema cuenta con más de 100 viviendas y 3 Km. de carreteras analizadas, con lo cual se ha visto que el modelo propuesto es bastante consistente al momento de evaluar el estado de condición, siendo la principal causa de deterioro los asentamientos provocadas por mal diseño en cimentaciones desplantadas sobre suelos expansivos. Actualmente se siguen llevando a cabo campañas de inspección en la ciudad y digitalizando toda la información en el sistema de inventario.

5 Conclusiones

Se presentó el desarrollo de un sistema de inventario basado en una metodología para la evaluación del estado de condición de viviendas y carreteras con daños en su estructura aplicando el formato de inspección desarrollado y propuesto en este trabajo, el cual establece una serie de observaciones de las características de los componentes estructurales de un edificio o vivienda.

Este modelo de evaluación asigna pesos específicos a estas observaciones y en base a estos pesos, el sistema determina de manera numérica el estado de condición del componente, permitiendo con esto tener una evaluación más exacta que la que proporciona el inspector de manera visual. De esta manera, es posible reducir los criterios subjetivos de los inspectores al evaluar la seguridad estructural de una vivienda dañada, siendo lo anterior de gran beneficio a las personas cuyas viviendas tengan algún tipo de daño en su estructura.

El uso de este sistema está siendo de gran ayuda a los inspectores del municipio de Tuxtla Gutiérrez al contar con una base de datos fiable y que permite la evaluación del estado de condición de la estructura de la Ciudad.

6 Agradecimientos

Los autores de este artículo desean expresar su agradecimiento a las siguientes instituciones: Universidad Autónoma de Aguascalientes (UAA) y Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH). Asimismo es preciso mencionar que la metodología y resultados de este artículo son derivados de los Proyectos de Investigación PROMEP/103.5/08/1265 y PROMEP/103.5/07/2338, financiados por el Programa de Mejoramiento de Profesorado (PROMEP) de la Secretaría de Educación Pública (SEP).

7 Bibliografía

[1] COST 345, "*Procedures Required for Assessing Highway Structures*", Working Group WG 2 and WG 3 Report, European Commission, DGT, 2003, <http://www.cordis.lu/cost-transport/src/cost-345.htm>, Enero, 2004

[2] Alonso F. *"Optimización Conjunta de las Políticas de Mantenimiento y Rehabilitación en Puentes mediante Algoritmos Genéticos. Aplicación al Sistema de Gestión de Puentes del Estado de Chiapas"*. Departamento de Ingeniería de la Construcción. ETSECCPB, Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, España. 2006

[3] Alonso F. *"Evaluación y Determinación de las Fallas Estructurales y Causas que las Provocan en Viviendas de Interés Social en la Ciudad de Tuxtla Gutiérrez"*. Reporte final PROMEP/103.5/07/2338, Universidad Autónoma de Chiapas (2008).

VARIABILIDADE DE CUSTOS DE REABILITAÇÃO NA ENVOLVENTE EXTERIOR DE EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO

Elsa Pinheiro*
ef_pinheiro@hotmail.com

Carina Sousa†
carinaipsousa@hotmail.com

João Carlos Gonçalves Lanzinha‡
joao.lanzinha@ubi.pt

Resumo

O conhecimento dos custos dos trabalhos de reabilitação, com especial incidência nos referentes à envolvente dos edifícios, é uma tarefa difícil sobretudo devido à falta de informação oficial acerca de preços praticados, em termos de materiais ou dos próprios trabalhos. Existe, por outro lado, uma grande variação de custos, devido a inúmeros factores e que decorrem por exemplo da especificidade dos trabalhos em apreço e das suas condições de execução.

Para o enquadramento do estudo que agora se apresenta foi necessário escolher um conjunto de trabalhos a executar na envolvente dos edifícios, o modo de determinação de custos de construção e a sua especificidade nos trabalhos de reabilitação.

Com o objectivo de aprofundar o conhecimento relativo à variabilidade de custos de reabilitação na envolvente exterior de edifícios de habitação, foi realizada uma consulta junto de empresas nacionais, apresentando-se neste artigo os resultados obtidos.

Palavras-chave: Reabilitação, Envolvente, Custos.

1 Enquadramento Geral

A estimação do custo real é sempre um elemento fundamental na tomada de decisões e planeamento financeiro das operações de intervenção em obra. As decisões de intervenção envolvem sempre os recursos financeiros disponíveis, pelo que é determinante conhecer previamente os custos da intervenção.

* Licenciada em Engenharia Civil, Universidade da Beira Interior, Covilhã.
† Licenciada em Engenharia Civil, Universidade da Beira Interior, Covilhã.
‡ Professor Auxiliar do Dep. Eng. Civil e Arquitectura, Universidade da Beira Interior, Covilhã.

Na base de qualquer custo em construção civil estão valores de rendimentos (mão de obra, materiais, equipamentos) que, de alguma forma, ponderam as quantidades dos meios de produção que concorrem para a produção de uma quantidade unitária. Nas obras de reabilitação, com tarefas novas ou pouco rotineiras, torna-se excepcionalmente difícil eleger valores fiáveis para os rendimentos e, consequentemente, para os custos unitários. A determinação destes custos é quase sempre uma tarefa muito difícil e ambiciosa, tendo em conta todos os parâmetros em apreciação.

Um dos factores determinantes para a sensibilizar os decisores e fundamentar os investimentos em reabilitação tem a ver com o aspecto das nossas cidades, consequência da degradação física dos edifícios. De vários estudos já realizados verificou-se, em termos exteriores dos edifícios, mesmo dos edifícios mais recentes, que é muito frequente a ocorrência de deteriorações importantes nas paredes exteriores, designadamente nos revestimentos e em fendilhação dispersa nos seus paramentos. Também a deterioração dos elementos constituintes dos vãos envidraçados é muito visível e a sua substituição necessária, para em simultâneo melhorar as condições de conforto térmico.

Sabe-se que os custos da envolvente vertical exterior representam cerca de metade dos custos totais e se adicionarmos os custos dos elementos da cobertura, a percentagem nunca será inferior a cerca de 65%. Por esta razão é muito importante conhecer os custos dos trabalhos de reabilitação da envolvente dos edifícios e avaliar a sua variabilidade.

2 Determinação e estimação de custos nos trabalhos de construção

A determinação de custos nos trabalhos de construção é uma tentativa de traduzir os custos de execução de um projecto e a respectiva qualidade, de forma a se aproximarem o mais possível ao custo real verificado em obra.

A elaboração de orçamentos, torna necessário que seja definido um conjunto de elementos muito diversificados: peças do projecto e condicionantes à execução das obras que possam condicionar o preço da construção; lista de trabalhos, com a descrição das especificações dos materiais e dos elementos de construção e das condições técnicas respectivas; quantidades de cada trabalho; rendimentos do pessoal, das máquinas e quantidades de materiais que devem ser considerados na execução de cada trabalho; preços de aquisição e transporte, até ao estaleiro, dos materiais e elementos de construção, bem como os salários do pessoal; estudo de implantação e exploração do estaleiro e a determinação dos custos correspondentes; custos indirectos, avaliados em função da dimensão das empresas eventualmente interessadas e, se for caso disso, das condições de concorrência no local e no período de execução das obras.

2.1 Especificidade da determinação de custos de trabalhos de reabilitação

As obras de reabilitação compreendem, trabalhos de reparação de anomalias, de beneficiação, demolições ou de consolidação prévia que não existem em obras novas. Os factores que fazem variar os custos da reabilitação são muito diversos e difíceis de contabilizar: condições de circulação, acesso ao local e possibilidade de montagem de estaleiro de apoio; dimensão de edifício, número de pisos e fogos a renovar e área média a reabilitar; presença de ocupantes durante a execução dos trabalhos; disponibilidade de mão-de-obra no local; custo de levantamentos topográficos, das operações de levantamento do estado dos edifícios, das sondagens e estudos prévios necessários, da execução dos projectos de reabilitação, de realojamento durante a execução das obras, da gestão, fiscalização e direcção técnicas, relativas à execução dos trabalhos e custos externos diversos (indemnizações relativas a estragos em prédios vizinhos ou arruamentos, seguros, etc.)

Há, ainda necessidade de efectuar trabalhos preliminares: os de demolição ou de consolidação prévia, inexistentes nas obras totalmente novas. Estes traduzem-se em encargos adicionais e que muitas vezes originam sobrecustos.

Para garantir que os custos possam ser determinados com algum rigor é fundamental executar-se um diagnóstico completo do edifício, recorrendo-se a técnicos qualificados e promover a realização de um projecto de reabilitação, do qual conste um caderno de encargos que contenha a descrição detalhada dos trabalhos a executar.

2.2 Estimação de custos de reabilitação

Os métodos de estimação de custos de reabilitação conhecidos são divulgados noutros países e revelam muitas limitações ou dificuldades de adaptação em países diferentes. Na generalidade, partem de conceitos básicos: a descrição do edifício e classificação do estado de degradação. Podem ser divididos por uma fase prévia, onde se opta por demolir ou reabilitar, após realização de estudos aprofundados, uma avaliação física e um estudo do custo global e a fase posterior que corresponde à reabilitação. Também, podem ser estudados uma série de edifícios – Edifícios Padrão – e assemelhar o edifício estudado a estes, considerando que têm aproximadamente os mesmos custos.

2.3 Disponibilização de custos de reabilitação

Foi analisada a situação de outros países, havendo algumas conclusões que serão válidas no nosso país sobretudo porque poderão constituir vias a desenvolver e porque a prática da reabilitação é mais corrente que a construção nova, ao contrário do que se verifica de momento em Portugal. A divulgação dos custos de reabilitação é importante para promover a transparência do mer-

cado e criar alternativas para que as condições de concorrência sejam efectivas no sector. No caso da França existe um organismo público, Observatório dos Custos dos Trabalhos em Reabilitação (OCTR), em que o objectivo é dar a conhecer ao público os custos dos trabalhos em reabilitação, obtidos a partir dos orçamentos dos processos instruídos para apoiar proprietários arrendatários. Em Espanha as empresas podem obter on-line informação precisa sobre custos de referência para os trabalhos de reabilitação.

3 Estudo da Variabilidade de custos de reabilitação

Em estudo anteriormente realizado [1] foi efectuada a análise de um conjunto de intervenções em edifícios recentes, com o objectivo de obter uma primeira base de dados sobre custos reais de intervenção em edifícios de habitação, localizados no Porto, tendo em especial atenção a sua envolvente exterior. Este, permitiu obter um conjunto de custos unitários médios e criar uma aplicação informática denominada "ESTIMA – Estimativa de custos de trabalhos de reabilitação de edifícios de habitação" que funciona em três módulos articulados entre si: Base de dados de custos unitários; Interface de introdução de dados relativos à intervenção a efectuar e um Módulo de cálculo da estimativa e impressão de resultados. No primeiro, existe um conjunto de trabalhos já inseridos que resulta dos estudos anteriormente efectuados.

Como complemento desse trabalho pretende-se estudar a variabilidade de custos de reabilitação de edifícios de habitação relativamente recentes.

3.1 Recolha de informação

Para avaliar a opinião das empresas relativamente aos aspectos que poderão influenciar a realização de obras e a determinação dos custos estabeleceram-se algumas questões, apresentadas no tópico seguinte.

Na preparação do trabalho de campo efectuou-se a escolha do conjunto de trabalhos mais comuns na envolvente exterior dos edifícios de habitação. Definiram-se 6 sub-categorias de custos e um conjunto de 81 artigos de orçamento: Custos Gerais, com a descrição de 4 artigos de orçamento; Zona opaca, com a descrição de 21 artigos de orçamento; Envidraçados, com a descrição de 15 artigos de orçamento; Cobertura, com a descrição de 19 artigos de orçamento; Pontos singulares, com a descrição de 9 artigos de orçamento; Varandas e terraços, com a descrição de 3 artigos de orçamento; Drenagem de águas pluviais, com a descrição de 10 artigos de orçamento.

3.2 Recolha e tratamento de dados

Foi enviado o inquérito a um conjunto de 287 empresas portuguesas e também um pedido de disponibilização de orçamentos propostos pelas empresas para a realização de obras de reabilitação, com objectivo de estudar a sua

variabilidade, efectuar uma comparação de preços e perceber o porquê desta variação. Como houve manifestação de dificuldade de preenchimento dos orçamentos propostos, optou-se pela possibilidade de disponibilização de orçamentos de obras de reabilitação já efectuados.

Obteve-se resposta de apenas 8 empresas, 10 orçamentos de obras diversas e 2 orçamentos de edifícios de habitação. Estes dados revelam a dificuldade de obter informação relativamente a este assunto e o provável clima de desconfiança ou desinteresse que é patente no sector.

Quanto às principais dificuldades referidas pelas empresas na determinação de custos de reabilitação foram: dificuldade de acessos à obra e espaço reduzido para estaleiro; falta de colaboração no reforço de medidas de segurança e aumento do risco em trabalhos de demolições; realização de poucas obras de reabilitação; análise muito pouco detalhada sobre o estado dos elementos que irão ser objecto de intervenção, para se poder utilizar a melhor solução; e "efeito - surpresa" das anomalias verificadas em obra.

Relativamente aos aspectos que no entender das empresas diferenciam estes preços dos relativos a trabalhos novos, foram referidos os seguintes: aumento da quantidade de mão-de-obra e de transportes por unidade de trabalho; falta de conhecimento para a obtenção das soluções mais correctas; falta de mão-de-obra especializada; e morosidade dos trabalhos.

Quanto às principais dificuldades na execução de trabalhos de reabilitação, apresentam-se: deficiências nas peças escritas e desenhadas dos projectos e na descrição dos trabalhos; condições de montagem e funcionamento dos estaleiros; excessiva burocracia e morosidade no licenciamento dos diferentes projectos; falta de divulgação das técnicas de reabilitação; e presença dos moradores.

As sugestões apresentadas pelas empresas para resolução dos problemas existentes no domínio da reabilitação foram os seguintes: *"Simplificação (na legislação) nos processos de licenciamento de projectos de reabilitação"*; *"Contratação de gabinetes especializados em projectos de reabilitação, que garantam o correcto levantamento da pré-existência e detalhes completos para a execução da obra"*; *"Necessidade legislar e fazer aplicar leis que limitem ao máximo o licenciamento de novas obras e obrigarem a reabilitar os edifícios antigos, de forma a travar o crescimento desmedido das periferias, tornando os interiores dos aglomerados urbanos autênticos desertos habitacionais"*; *"Os empreiteiros com metade do tempo, metade dos custos, conseguem produzir o dobro na execução de trabalhos novos, relativamente aos mesmos trabalhos de reabilitação, sendo por isso, uma situação muito pouco atractiva para as empresas"*.

Feito o tratamento de dados dos orçamentos recebidos verifica-se que o conjunto de trabalhos em que há maior discrepância e valores mais elevados, são os custos gerais. Por exemplo, no caso dos custos de montagem, manutenção e desmontagem de estaleiro os valores variam, dentro da mesma empresa,

entre 515,98€/un. e 71.896,46€/un. Um exemplo da sub-categoria "Zona Opaca" é o tratamento de fachadas com revestimento em ladrilhos/azulejos, que foi orçamentado entre 42,27€/m^2 e 12,83€/m^2 por diferentes empresas. Já nos envidraçados, a substituição de caixilharia em alumínio lacado varia, por m^2, entre 141,37€ e 750,00€, em empresas distintas. Em termos de cobertura, a execução de betonilha de regularização em argamassa varia entre 6,51€/m^2 e 48,63€/m^2 em obras da mesma empresa.

Como se esperava existe uma discrepância entre empresas distintas. Menos expectável é a discrepância dos valores para o mesmo trabalho em orçamentos da mesma empresa. Este facto merecerá reflexão em trabalhos futuros.

4 Conclusões

As respostas obtidas relativamente às principais dificuldades referidas pelas empresas na determinação de custos de reabilitação, aos aspectos que no entender das empresas diferenciam estes preços dos relativos a trabalhos novos e principais dificuldades na execução de trabalhos de reabilitação, que foram reportadas pelas empresas, permitem agora aprofundar o estudo e tomar em atenção alguns aspectos que são do maior interesse.

É realçada pelas empresas a importância da contratação e criação de gabinetes especializados em projectos de reabilitação. Será também importante a regulação deste domínio de intervenção, definindo perfis de competências de técnicos que produzem relatórios de avaliação/inspecção de forma a qualificar as empresas que operam no domínio do projecto, fiscalização e execução de obras de reabilitação.

Este assunto ainda está no início de exploração e desenvolvimento tendo havido grande dificuldade em obter a colaboração das empresas. Tendo em conta este facto, poucas conclusões se podem tirar. Uma vez que, actualmente, este assunto é considerado de grande importância e utilidade, existe a intenção de continuar o estudo do tema, com objectivo de poder facilitar o trabalho em obras de reabilitação de edifícios e a coordenação entre as partes intervenientes, ganhando a eficácia necessária.

5 Bibliografia

[1] Lanzinha, J. C.G., *"Reabilitação de Edifícios - Metodologia de Diagnóstico e Intervenção"*, Tese de Doutoramento, UBI, Covilhã, 2006.

[2] Braga, M., *"Reabilitação de edifícios de habitação - contribuição para a estimação de custos"*, Dissertação de Mestrado, IST, Lisboa, 1990.

[3] Pontes, J., *"Economia da reabilitação de edifícios de habitação"*, Dissertação de Mestrado, I.S.T., Lisboa, 1990.

IMPORTÂNCIA DOS FUNDOS DE RESERVA DOS CONDOMÍNIOS NA MANUTENÇÃO E REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS

João Carlos Gonçalves Lanzinha*
João.lanzinha@ubi.pt

Vasco Peixoto de Freitas†
vpfreita@fe.up.pt

Resumo

O presente artigo pretende reflectir sobre a importância do *Fundo Comum de Reserva* dos condomínios no processo de reabilitação do património edificado. Para o efeito divulgam-se os resultados da investigação efectuada relativamente à gestão dos condomínios de proprietários de edifícios multifamiliares e à verificação das necessidades de reforço das contribuições para os fundos de reserva respectivos.

Analisam-se as contribuições dos proprietários para os orçamentos dos condomínios, com especial incidência na constituição dos fundos de reserva estipulados legalmente, a distribuição das despesas correntes do condomínio, os valores das mensalidades praticadas e previsão das verbas globais envolvidas na gestão económica dos condomínios.

As mensalidades pagas, nem sempre se reflectem de forma adequada na constituição dos fundos de reserva e, por essa razão, sempre que existem necessidades de investimento para manter os edifícios em boas condições de conservação, os condomínios de proprietários não estão preparados para assumir tais despesas, facto que potencia conflitos e contribui para a degradação do parque edificado.

Para alterar a situação actual propõe-se um conjunto de medidas que consideramos fundamentais, nomeadamente o reforço das contribuições, a realização de Estudos Técnicos do Fundo de Reserva, o reforço das garantias dos compradores de imóveis e a certificação de técnicos ou empresas envolvidas na gestão de condomínios.

Palavras-chave: Condomínio, Manutenção, Reabilitação.

* Prof. Auxiliar do Dep. de Engenharia Civil e Arquitectura, Universidade da Beira Interior

† Prof. Catedrático da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Director do Laboratório de Física das Construções.

1 Características e evolução das empresas de gestão de condomínios

A actividade de administração de condomínios em Portugal não depende de alvará ou licença de funcionamento embora o InCI – Instituto da Construção e do Imobiliário tenha, por incumbência do Governo, desenvolvido um projecto de regime jurídico que pretende estabelecer regras para o exercício de tal actividade, projecto que se encontra ainda em processo legislativo.

Os dados estatísticos revelam uma dinâmica de crescimento muito forte, que, com toda a certeza é explicada pelo valor previsível do respectivo mercado e pelas oportunidades de negócio do sector.

Tabela 1: Número de empresas de gestão de condomínios e pessoal ao serviço (Dados MTSS).

Ano	Nº de empresas	Nº pessoas ao serviço
1996	339	1972
1997	398	2103
1998	475	3391
1999	519	2820
2000	665	3804
2001	n.d.	n.d.
2002	1370	4277
2003	1229	4072
2004	1340	4446
2005	1602	4953
2006	1681	5485

Outros dados interessantes que foram possível obter mostram a distribuição distrital das referidas empresas e sua evolução entre 1996 e 2006.

Tabela 2: Evolução e distribuição distrital do número de empreasas entre 1996 e 2006.

Distrito	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	%
Lisboa	157	186	202	230	329	n.d.	847	659	707	766	802	47,70%
Faro	71	74	89	90	106	n.d.	157	168	202	244	252	14,99%
Porto	35	52	64	63	68	n.d.	137	157	168	208	224	13,33%
Setúbal	25	24	35	42	39	n.d.	64	66	67	79	78	4,64%
Braga	18	20	24	24	29	n.d.	39	35	38	62	66	3,93%
Aveiro	3	2	10	14	13	n.d.	27	24	27	39	40	2,38%
Coimbra	12	14	16	13	17	n.d.	20	24	23	35	37	2,20%
Leiria	2	5	4	5	7	n.d.	16	22	24	35	36	2,14%
Outros distritos	16	21	31	38	57	n.d	63	74	84	134	146	8,69%
Total	339	398	475	519	665	n.d.	1370	1229	1340	1602	1681	100,0%

2 Contribuições dos proprietários para os fundos dos diferentes condomínios organizados

No âmbito da investigação realizada com o objectivo de definir metodologias de intervenção na reabilitação de edifícios em Portugal [1] recolheu-se informação relativa às contribuições dos proprietários para os orçamentos dos condomínios, com especial incidência na constituição dos Fundos Comuns de Reserva estipulados legalmente.

2.1 Caracterização da amostra

A amostra estudada contemplou um conjunto total de 74 edifícios multifamiliares localizados na cidade da Covilhã, perfazendo um total de 1063 fracções. Estes dados foram obtidos a partir de entrevistas directas com os moradores, complementados com entrevistas a empresas de gestão de condomínios.

2.2 Análise da distribuição das despesas correntes e previsão das verbas globais envolvidas na gestão dos condomínios

Mediante a análise detalhada do conjunto de orçamentos fornecidos pelo conjunto de empresas de gestão de condomínios consultadas, retiraram-se os valores das médias das diversas despesas suportadas pelos condóminos e respectiva distribuição percentual (Tabela 3). Estes valores têm grande variação, como se pode verificar, sendo significativas as contribuições para contratos de manutenção de equipamentos mecânicos de elevação e despesas de administração.

Tabela 3: Estrutura habitual do orçamento dos condomínios analisados (%).

Tipo de Despesa	Média	Intervalo	
		Mínimo	Máximo
Água	2,26%	0,46%	4,88%
Electricidade	14,94%	3,90%	32,43%
Limpeza	21,82%	12,52%	39,82%
Diversos	3,55%	1,14%	12,02%
Contrato Manutenção	38,49%	27,26%	52,77%
Assinatura Mensal PT	4,71%	3,00%	6,64%
Obras	7,27%	3,71%	13,93%
Seguros Multi-riscos	6,87%	3,99%	12,39%
Despesas Administrativas	1,28%	0,09%	3,38%
Administração	20,87%	11,01%	46,92%

Aproveitando os dados recolhidos, estudaram-se os valores prováveis que poderão estar envolvidos na gestão económica dos condomínios em Portugal,

recorrendo-se também às estatísticas oficiais dos Censos 2001, tentando extrapolar os dados obtidos na análise efectuada para a realidade da cidade e do país (Tabela 4).

Esta análise, embora efectuada de uma forma simplista e merecedora de aprofundamento, pode dar-nos uma ideia aproximada do volume de negócios previsíveis, permitindo-nos concluir que existem muitas oportunidades de negócio nesta área.

Tabela 4: Previsão das verbas envolvidas na economia dos condomínios.

	Amostra	Covilhã	Portugal
Nº de Edifícios Multi-Familiares	74	3.550	411.995
Nº de Fracções em Edifícios Multi-Familiares	1.063	14.068	2.279.686
Mensalidade Média (€)	22,74	---	---
Valor Global das Mensalidades (€)	24.172	319.858	51.832.286
Valor Anual Mercado (€)	290.071	3.838.300	621.987.437

Segundo os dados do INE, o PIB português em 2006 foi de 154.160 milhões de euros, o que significa que o valor das contribuições normais dos condóminos poderá representar cerca de 0,403% do PIB nacional embora, na realidade, apenas cerca de 10% sejam aplicados em acções efectivas de manutenção/reabilitação dos edifícios multi-familiares.

2.3 Mensalidade paga, fundo de reserva e necessidades de investimento

A análise do conjunto de dados da amostra analisada permitiu concluir que o valor anual médio disponibilizado por fracção era de 272,88€, sendo disponibilizados para futuros trabalhos de manutenção/reabilitação, em princípio, apenas os 10% previstos legalmente para o Fundo de Reserva, ou seja, cerca de 27€.

Supondo que cada fogo poderá ter uma área aproximada de fachada, incluindo envidraçados, de aproximadamente 65 m^2 ((12 +12) x 2,70), a verba disponibilizada anualmente seria de 27,29 / 65 = 0,42 € / m^2 de fachada, valor claramente insuficiente para efectuar qualquer intervenção.

Considerando um valor patrimonial médio por fogo de 75.000,00€, valor adoptado com precaução, tendo em conta os valores especulativos atingidos em grande parte dos casos, os gastos anuais com o condomínio representam 272,88 / 75.000,00 = 0,003638 do valor da propriedade. O valor disponível para efectuar obras de reabilitação (10%) corresponderia, portanto, a 0,036 % do valor patrimonial. Em nosso entender, o valor mais correcto para as contribuições anuais para o Fundo de Reserva, deveria encontrar-se no intervalo

0,5 – 1% do valor patrimonial do edifício, ou seja, cerca de 375,00 – 750,00€, pelo que se verifica que as contribuições actuais estão muito abaixo do desejável. Tendo em conta o valor patrimonial definido, poderíamos apontar o valor anual mínimo de aproximadamente 625,00€ (= 375,00 + (272,88 x 0,9)), para a contribuição a pagar, ou seja cerca de 2 a 3 vezes mais do que o valor médio que é pago actualmente.

Com estas contribuições, o valor global do investimento poderia aproximar-se de 2% do PIB. Tendo em consideração que o valor dos investimentos em construção representam cerca de 6% do PIB nacional, por esta via e invertendo as políticas actuais de investimento em construção nova, o investimento em reabilitação poderia aproximar-se dos 30%, percentagem que colocaria Portugal na média dos países europeus.

3 Estudo do Fundo de Reserva – exemplo do Canadá

No Estado de Ontário, no Canadá, foi publicada a Lei do Condomínio 1998 que tornou obrigatório, a partir de Maio de 2001, que todos os condomínios apresentem um Estudo de Fundo de Reserva. O propósito deste estudo é disponibilizar uma análise e uma listagem detalhada dos elementos construtivos que irão exigir grandes reparações ou eventualmente ser substituídos. Na posse desta informação, o condomínio, através da administração, pode preparar um plano financeiro de longo prazo para a manutenção e eventual substituição dos elementos principais do edifício.

Pretende-se com a análise financeira constante do Plano do Fundo de Reserva avaliar a situação actual do Fundo de Reserva e fornecer recomendações para que os valores a pagar mensalmente pelos diferentes condóminos sejam ajustados de forma a preparar antecipadamente os gastos futuros em grandes reparações ou substituições integrais. Para garantir a eficácia do sistema, prevê-se que o relatório relativo ao Fundo de Reserva seja elaborado por técnico qualificado, com experiência na matéria e com uma percepção realista do significado global, propósito e interesse do Estudo do Fundo de Reserva e as implicações que lhe estão inerentes.

Para além do seu interesse prático para enfrentar as necessidades de realização de obras sem custos adicionais ou maior esforço financeiro dos condóminos, estes documentos permitem também disponibilizar aos futuros compradores informações importantes sobre as exigências e compromissos financeiros a satisfazer a partir do momento em que adquirem a respectiva fracção.

4 Conclusões e medidas sugeridas

Pelos dados apontados, verifica-se que a generalidade dos proprietários portugueses de habitação contribuem de forma insuficiente para a satisfação

das necessidades de manutenção das habitações. É urgente inverter esta situação para não adiarmos a resolução de um problema que irá condicionar fortemente o estado de conservação das nossas habitações.

Para o efeito sugerem-se as seguintes medidas:

1. Estabelecer as medidas legislativas que regulem a actividade das empresas e técnicos envolvidos na gestão de condomínios;
2. Promover a revisão do actual quadro legal e estabelecer medidas legislativas que obriguem ao estabelecimento de um Fundo de Reserva dotado de verbas suficientes para as intervenções necessárias;
3. Tornar obrigatória para os condomínios já estabelecidos a realização de um Estudo Técnico do Fundo de Reserva realizado por técnicos certificados por autoridade competente e o estabelecimento de um Plano Financeiro do Fundo de Reserva para ser implementado pela administração do condomínio;
4. Obrigatoriedade de anexar, na constituição de novos condomínios, o Plano Financeiro do Fundo de Reserva do condomínio;
5. Obrigatoriedade de informação aos compradores dos valores estabelecidos para as contribuições para o condomínio e da respectiva contribuição para o Fundo de Reserva;
6. Certificação de técnicos e empresas de gestão de condomínios a efectuar por Observatório, constituído por Universidades e Politécnicos, públicos ou privados, tendo como base a organização territorial e a área de influência respectiva;
7. Financiamento dos estudos por parte do Estado, através de organismo com tutela sobre o sector da habitação.

5 Bibliografia

[1] Lanzinha J.C.G.. *Reabilitação de Edifícios – Metodologia de Diagnóstico e Intervenção.* Tese de Doutoramento com orientação do Prof. Vasco Freitas (F.E.U.P.) e co-orientação de J.P. Castro Gomes (U.B.I.), Universidade da Beira Interior, Covilhã, Novembro 2006.



SESSÃO XXVI

MANUTENÇÃO

GESTÃO TÉCNICA DE EDIFÍCIOS

Enquadramento e Princípios para um Modelo Nacional de Garantias Contra Defeitos na Construção

Nuno M. Almeida[*]
nalmeida@civil.ist.utl.pt

Vitor Sousa[†]
vsousa@civil.ist.utl.pt

L.M. Alves Dias[‡]
ldias@civil.ist.utl.pt

Fernando Branco[§]
fbranco@civil.ist.utl.pt

Resumo

A gestão da qualidade, da responsabilidade e das garantias dos empreendimentos e obras de edifícios tem sido tratada na comunidade científica e normativa internacional desde há alguns anos. Vários países têm promovido estes conceitos no sector da construção, bem como no subsector dos edifícios e no mercado de habitação, nomeadamente através de sistemas de responsabilização dos intervenientes e da emissão de garantias/seguros contra defeitos nas construções. Este artigo relata o enquadramento em que se baseiam essas experiências internacionais, nomeadamente a da gestão da qualidade, a da avaliação do desempenho e a da gestão do risco, e propõe um conjunto de princípios que podem orientar o desenvolvimento de uma proposta nacional conducente à emissão de garantias/seguros contra defeitos nas construções, a qual está a ser desenvolvida no âmbito de uma investigação em curso no Instituto Superior Técnico.

Palavras-chave: Qualidade, Desempenho, Risco, Modelo de Gestão Técnica, Garantias.

1 Introdução

O sector da construção vem adaptando e implementando diversas abordagens conceptuais e modelos de gestão que foram desenvolvidos e que se consolidaram noutros contextos sectoriais ou actividades de negócio. Refira-se, a título de exemplo, os Sistemas de Gestão da Qualidade (SGQ), os Sistemas de Gestão Ambiental (SGA) e os Sistemas de Gestão da Segurança e Saúde no

[*] Assistente, IST.
[†] Assistente, IST.
[‡] Prof. Associado, IST.
[§] Prof. Catedrático, IST.

Trabalho (SGSST), que se baseiam no conceito da 'qualidade na construção' e cuja aceitação crescente no seio das organizações do sector da construção é cada vez mais evidente.

Actualmente, a implementação deste tipo de sistemas de gestão no sector da construção está a ser influenciada por outros conceitos abrangentes importantes, nomeadamente o da 'construção baseada no desempenho' e o da 'gestão do risco na construção'.Estes três conceitos (qualidade, desempenho e risco), tanto na acepção que lhes foi primeiramente conferida pelos sectores de actividade que os desenvolveram, como na interpretação específica que o sector da construção lhes conferiu posteriormente, apresentam relações explícitas e revelam-se complementares. Deste modo, é possível integrá-los no âmbito restrito do subsector dos edifícios, designadamente através da incorporação dos mesmos numa das componentes da gestão de empreendimentos e obras de edifícios – a da gestão técnica.

2 Enquadramento da Gestão Técnica de Edifícios

Os modelos de gestão de empreendimentos e obras de edifícios baseados nos conceitos da gestão da qualidade, da avaliação do desempenho ou da gestão do risco permitem incorporar consistentemente todo um conjunto de preocupações, tais como a preservação dos recursos naturais, a segurança e saúde e todas as que se relacionam com as necessidades individuais e da sociedade em geral, quer estejam explicitamente regulamentadas e documentadas ou subsistam de forma implícita.

Contudo, as entidades que exercem actividade no sector da construção podem ter dificuldades em compatibilizar este tipo de preocupações com a necessidade de optimizar custos e prazos das suas realizações. Estas dificuldades podem resultar numa degradação do produto, do processo e/ou do serviço prestados.

A Gestão Técnica (GT) pode ser entendida como uma componente da gestão de empreendimentos (GE) e obras que visa enquadrar de forma abrangente as preocupações que tradicionalmente estão fora da esfera da gestão dos custos e dos prazos [1]. Existem várias possibilidades de enquadramento desta componente da gestão de empreendimentos e obras [2]. Sugere-se como válida a forma ilustrada na Figura 1.

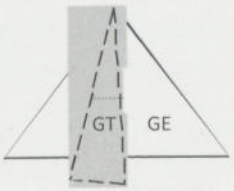


Figura 1: Enquadramento da gestão técnica de empreendimentos e obras.

A GT de empreendimentos e obras de edifícios deve envolver e ser uma responsabilidade da gestão de topo, ainda que esta responsabilidade possa ser total ou parcialmente delegada internamente. O envolvimento da gestão de topo é determinante, porquanto a sua ausência reduz esta componente de gestão a uma tarefa meramente administrativa. A GT deve auxiliar e interagir com as demais componentes de GE (ex: custos e prazos), ainda que se possam delegar tarefas a entidades externas.

Princípios e implicações

As tarefas a desenvolver no âmbito da GT de empreendimentos podem incluir total ou parcialmente aquelas que habitualmente são desenvolvidas no âmbito de disciplinas como a gestão do risco, a avaliação do desempenho e a gestão da qualidade (bem como nas de gestão do ambiente e da gestão da segurança e saúde no trabalho), entre outras.

Este capítulo introduz os princípios subjacentes a uma nova filosofia de gestão técnica de empreendimentos e obras especialmente vocacionado para o subsector dos edifícios e explora algumas das implicações que lhe estão subjacentes.

3.1 Satisfação dos utilizadores finais (sociedade e indivíduos)

A percepção da qualidade dos edifícios evoluiu da conformidade implícita, que se associava ao cumprimento de regulamentos prescritivos ("edificação livre de defeitos"), para a satisfação do 'cliente' e medição dessa satisfação em função de requisitos estabelecidos contratualmente. Contudo, a questão fundamental em torno da qualidade dos edifícios reside na concordância sobre quem deve estabelecer os requisitos a satisfazer.

O estado actual de desenvolvimento da abordagem da qualidade, muito associada ao desenvolvimento e implementação de SGQ alinhados com a família de normas ISO 9000, restringe de alguma forma a possibilidade de incluir (e gerir) alguns dos requisitos de 'Clientes' externos à linha de contratação directa das organizações que implementam esse tipo de sistemas de gestão. Este aspecto restritivo dos SGQ convencionais é particularmente importante para o sector da construção, e em particular para o subsector dos edifícios, uma vez que raramente é o 'utilizador final' quem contrata directamente as organizações da indústria da construção (tais como projectistas, construtores, fornecedores, etc.) que mais influenciam a qualidade final do produto construído.

Contrariamente, o conceito dos 'edifícios baseados no desempenho' (EBD) [3-6] salienta claramente a importância do 'utilizador final'. Para além disso, alguns defensores desta abordagem esclarecem ainda que a perspectiva das

necessidades do utilizador final colectivo (sociedade) deve preceder às do utilizador final individual, sempre que as mesmas sejam incompatíveis [7]. A abordagem do risco advoga princípios similares à abordagem do desempenho uma vez que se baseia no pressuposto de que a sociedade de um modo geral, e os indivíduos em particular, são, em última análise, os principais afectados pelas várias fontes de risco.

A análise dos pressupostos imanentes às abordagens da qualidade, do desempenho e do risco permitem concluir que as organizações do sector da construção, e especialmente as do subsector dos edifícios, devem ter presente a perspectiva do 'utilizador final' (sociedade e indivíduo). Mormente, esta conclusão permanece válida ainda que este 'utilizador final' não seja o 'cliente' que contrata directamente os serviços prestados por essas organizações (i.e. o tipo de 'Cliente' que os SGQ, no seu estado actual de desenvolvimento, tradicionalmente visam satisfazer).

3.2 Qualidade do produto construído (edifício)

As organizações com maior influência na qualidade/desempenho/risco dos edifícios raramente contratam directamente com os 'utilizadores finais'. Logo, dever-se-á atender ao canal de interacção por excelência entre estas várias partes interessadas - o produto final construído (edifício) [1].

Ainda que entidades como donos de obra, projectistas e construtores adoptem e implementem – e eventualmente certifiquem – SGQ em conformidade com a ISO 9001:2000, isso não assegura a qualidade do produto final construído (neste caso, o edifício) e apenas significa que aquelas organizações estão a implementar processos que as compelem a atingir esse objectivo.

Em face disto, constata-se que um dos principais catalisadores da qualidade na construção lida sobretudo com a dimensão da 'qualidade do processo' e delega para outros referenciais (regulamentos técnicos, documentos contratuais, normas de produtos, especificações técnicas, etc.) a dimensão da 'qualidade do produto'. Contudo, a dimensão da 'qualidade do produto' está a tornar-se cada vez mais decisiva [8] devido ao facto desta dimensão ser mais fácil de negociar [9] e de ser a mais adequada para controlar e detectar não conformidades.

Pelas mesmas razões, tanto a abordagem do desempenho como a do risco reforçam a ideia de que a indústria da construção está num momento em que a comunicação com os utilizadores finais se baseia cada vez mais na dimensão da qualidade do produto. Porém, importa referir que a 'qualidade/desempenho/risco do produto' não pode ser dissociada da 'qualidade/desempenho/risco do processo' [10] e que os sistemas de gestão que vêm sendo implementados em toda a cadeia de valor da indústria da construção e de fornecimento de edifícios construído continuam a ter um papel importante.

3.3 Responsabilização efectiva dos principais intervenientes

A dificuldade dos utilizadores finais em responsabilizarem os intervenientes que mais influem no desempenho final do edifício foi identificada como um dos maiores obstáculos à aplicação plena do conceito dos EBD [11, 12].

A abordagem do risco pode complementar esta lacuna, já que esta é a base dos mecanismos que os bancos e as seguradoras utilizam para identificar atempadamente os responsáveis pela geração (i.e. promotor, projectista e construtor) e verificação (i.e. revisor de projecto, controlador da construção, avaliadores e auditores, etc.) da informação relacionada com o edifício e que é utilizada para efeitos de concessão de créditos e de emissão de apólices de seguros, respectivamente.

3.4 Garantias contra edifícios não conformes

Em linha com o que se passa noutras indústrias e sectores de actividade, os utilizadores finais dos edifícios actuais passaram a exigir, para além de eventuais marcas da qualidade/desempenho do produto, garantias efectivas de que o produto adquirido atinge essa qualidade/desempenho [13].

Actualmente, muitos países complementam as legislações de responsabilização dos vários intervenientes com esquemas de garantias/seguros para indemnização de eventuais reparações e de danos ocorridos em edifícios [14]. Independentemente das peculiaridades que estes esquemas possam assumir, um aspecto comum é a intervenção crescente dos bancos e das companhias de seguros nesse contexto [8], já que ao contrário da grande maioria dos utilizadores finais, estas entidades (a par com as entidades defensoras do interesse colectivo) usufruem de uma posição privilegiada para responsabilizar os intervenientes mais influentes no subsector dos edifícios.

3.5 Conformidade na perspectiva técnica e da engenharia

As decisões dos utilizadores finais dependem da disponibilidade de informação sintética e intuitiva. A regulamentação técnica de edifícios trata indirectamente decisões que nem sempre reúnem aquelas duas condições, tal como é o caso da optimização dos aspectos técnicos e financeiros dos edifícios.

As estatísticas relativas a danos e patologias mais recorrentes (disfunções estruturais, comportamentos inadequados de fachadas, entre outros de natureza predominantemente técnica), relevam a importância da demonstração efectiva da conformidade técnica dos edifícios, bem como dos esquemas de protecção contra defeitos desta natureza.

4 Conclusões

A operacionalização do conceito de gestão técnica de edifícios depende da concepção e desenvolvimento de um modelo centrado no utilizador final do edifício e no produto final construído que lhes é provido, na responsabilização efectiva dos principais intervenientes no provimento desse produto final, nas garantias que se devem associar a esse produto e, por último, na consideração da perspectiva técnica e da engenharia como um referencial preferencial para fundamentar essas garantias. Este modelo está a ser desenvolvido no âmbito de uma investigação em curso no IST.

5 Bibliografia

[1] Almeida, N.M. et. al *Controlo a Avaliação Técnica de Edifícios Novos: Aplicação em Estruturas de Betão Armado.* Construção 2007. FEUP, Porto. 2007

[2] Sousa, V. Almeida, N.M. Alves Dias, L.M. Matos, J.S. Fernando F. *Gestão do Risco na Construção: Aplicação a Sistemas de Drenagem Urbana.* 13.º Encontro Nacional de Saneamento Básico. Covilhã: APESB, 2008

[3] Szigeti. F. Davis, G. *What is Performance Based Building (PBB): In a nutshell.* News Article. PeBBu Thematic Network, 2005

[4] Preiser, W. Vischer, J. *Assessing Building Performance.* Oxford: Elsevier, 2005

[5] Foliente, G. *Performance Based Building R&D Roadmap.* Performance Based Building Thematic Network 2001-2005, 2005

[6] Foliente, G. Leicester, R.H. November, L. *Development of the CIB Proactive Program on Performance Based Building Codes and Standards.* Highett: CSIRO Building Construction and Engineering, 1998. BCE Doc 98/232

[7] Bukowski, R. Hirano, Y. Rackliffe, T. *Standards Linkages to a Performance-Based Regulatory Framework.* Performance in Product and Practice. CIB WBC. Wellington, New Zealand: 2001. pp. 1-9

[8] Lützkendorf, T. Speer, M. *Alleviating asymetric information in property markets: building performance and product quality as signals for consumers.* Building Research & Information. 2005. Vol. 33, 2, pp. 182-195

[9] Winch, G. Usmani, A. Edkins, A. *Towards total project quality: a gap analysis approach.* Construction Management and Economics. 1998. Vol. 16

[10] ISO 10006:2003. Quality management systems – guidelines for quality management in projects

[11] Becker, R. Foliente, G. *PeBBu 2nd International SotA Report.* CIBdf.: Mansi Jasuja, 2005. Final Report

[12] Tubbs, B. *Final report.* CIB TG 37. Toronto: CIB World Building Congress - Building for the future, 2004

[13] Szigeti, F. Davis, G. *Learning from Our Buildings: A State-of-the-Practice Summary of Post-Occupancy Evaluation.* National Research Council: National Academy of Sciences, 2002

[14] Lavers, A.P. *Case Studies in Post Construction Liability and Insurance.* International Status Report: CIB W87 - Post Construction Liability and Insurance, 1999

APLICAÇÃO DE TÉCNICAS NDT A EDIFÍCIOS DE ALVENARIA DE PEDRA NA CIDADE DO PORTO

Luís Miranda*
barbosamiranda@gmail.com

João Guedes†
jguedes@fe.up.pt

Aníbal Costa‡
agc@fe.up.pt

Resumo

No presente artigo apresenta-se o resultado da aplicação de técnicas "in situ" de ensaios não destrutivas (NDTs) de caracterização do estado físico/mecânico de paredes de alvenaria de pedra em edifícios na cidade do Porto. Em particular, foram utilizados dois tipos de ensaios: Ensaio com Macacos Planos e Ensaio por Emissão de Onda Sónica. Estes ensaios permitem inferir o estado de tensão e o estado físico em que se encontram as paredes e, através de correlações, estimar fronteiras de valores para as características mecânicas do material.

Neste estudo pretendeu-se: (a) clarificar a influência da rugosidade do material e do tipo de acoplador utilizado nos resultados obtidos no Ensaio Sónico, e (b) estudar a aplicabilidade da técnica dos Macacos Planos às condições das paredes de alvenaria da cidade do Porto, em particular às paredes de alvenaria de uma folha, vulgarmente designadas por paredes de perpianho. As duas técnicas foram comparadas em termos dos resultados obtidos e das características mecânicas inferidas para as paredes testadas.

Palavras-chave: NDT, Alvenaria de Pedra, Ensaio Sónico, Macacos Planos.

1 Introdução

A consciencialização dos agentes da reabilitação de edifícios tem vindo a fomentar em Portugal intervenções cada vez mais sustentadas começando os Ensaios Não Destrutivos (NDTs) a serem prescritos como parte fundamental de um diagnóstico sustentado. Embora os seus resultados, por si só, não pro-

* Aluno de Doutoramento, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
† Professor Auxiliar, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
‡ Professor Catedrático, Universidade de Aveiro.

duzam verdades inquestionáveis, devendo por essa razão ser alvo de correlações entre si e por comparação com ensaios de outro tipo e natureza (laboratorial, por exemplo), a verdade é que dão indicações preciosas acerca das propriedades das alvenarias e dos seus componentes.

Na cidade do Porto assiste-se hoje a uma fase de crescente interesse pelas construções antigas existentes que, em grande número, se encontram degradadas e carecem de medidas correctivas. Como a maioria destas construções possui estrutura de alvenaria de pedra, torna-se importante desenvolver e dominar metodologias que, aplicáveis a este tipo de estruturas, permitam a sua caracterização e a realização de um correcto diagnóstico do seu estado.

A caracterização das estruturas é importante, entre outras, em quatro situações distintas [1, 2]: avaliação do coeficiente de segurança; alteração do tipo de utilização; avaliação da eficácia de técnicas de reparação/reforço; monitorização do desempenho estrutural.

Nesta comunicação apresentam-se alguns trabalhos desenvolvidos sobre dois ensaios NDT aplicáveis a Alvenarias de Pedra: Ensaio Sónico e Ensaio de Macacos Planos.

2 Ensaio Sónico

A utilização do Ensaio Sónico em Engenharia Civil começou por ser feita sobre elementos de betão, por volta do ano de 1938. A determinação do tempo de propagação de uma onda sónica num elemento permitia então, ter uma ideia da qualidade desse elemento e determinar o seu Módulo de Elasticidade Dinâmico [3].

Há cerca de 30 anos o Ensaio Sónico foi utilizado na detecção de vazios, tendo os seus resultados sido cruzados com os resultantes de imagens termográficas. Os resultados obtidos consideram-se interessantes conforme se pode verificar na bibliografia disponível [4]. Dez anos depois, ainda em betão, tentou-se determinar a dimensão de fendas, trabalho ainda em desenvolvimento nos dias de hoje [5].

Mais que uma caracterização de natureza quantitativa (assunto que exige ainda investigação), o Ensaio Sónico permite a análise qualitativa dos elementos estruturais e pode ser realizado em alvenarias com os seguintes objectivos [1]: avaliação das características da alvenaria; detecção de vazios e fissuras; controlo de reparações por injecção; detecção de alterações nas características físicas dos materiais.

No caso das alvenarias de granito, existentes não só no Porto mas um pouco por todo país, o contacto do acelerómetro com o material testado é particularmente difícil, devido à rugosidade da superfície dos materiais a estudar. Ao longo do trabalho desenvolvido pelo Núcleo de Conservação e Reabilitação d'Edifícios e Património (NCREP) da Faculdade de Engenharia da Universi-

dade do Porto, procurou-se avaliar a influência dessa rugosidade e dos métodos existentes para minimizar os seus efeitos, nos resultados obtidos.

Começou-se por testar, em laboratório, uma pedra com superfície rugosa de dimensões 80x80x30 cm3. Foram realizados unicamente ensaios de transparência (emissor e receptor colocados em faces opostas em relação à "espessura" do elemento) nas quatro faces de 80x30cm2, em condições diferentes no que diz respeito ao contacto do acelerómetro com a pedra: (a) com gel para garantir uma superfície homogénea de transição pedra-acelerómetro; (b) com gel nas duas faces de uma chapa (de dimensões 1.5x1.5cm2) colocada em contacto com a pedra e com o acelerómetro; (c) com a superfície da pedra afagada através da utilização de uma rebarbadora. Consideraram-se ainda várias combinações das três condições referidas e trocadas as posições do emissor e do receptor ou seja, o sentido de emissão da onda. Cada ensaio contemplou a realização de 5 testes em cada ponto.

Não foi encontrada qualquer correlação entre o tipo de acoplamento e a qualidade dos resultados obtidos. As variações das velocidades obtidas também não assumiram valores muito diferentes entre si, tendo nos casos mais afastados atingido uma diferença de cerca de 200m/s, o que, tendo em conta a velocidade média obtida para o material de 1098m/s e a finalidade destas aplicações (mais de carácter qualitativo), não se considera significativo. O desvio padrão obtido em cada ensaio (para cada ponto) não ultrapassou os 90m/s ou seja, 10% do valor médio.

Após a campanha efectuada em laboratório, foi adoptado um procedimento semelhante numa parede de perpianho de granito com 40cm de espessura de um edifício na cidade do Porto. O estudo contemplou 3 locais distintos (genericamente designados por A, B e C) que se apresentam na figura seguinte, e dois tipos de aplicações semelhantes às referidas anteriormente: (a) com gel e (ou) (b) com chapa. Os resultados obtidos apresentam-se na Tabela 1.



a) b) c)

Figura 1: Localização dos pontos ensaiados: a) local A; b) local B; c) local C.

Tabela 1 – Velocidade de propagação das ondas P numa pedra.

Teste	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Local	A	A	A	A	B	B	B	C	C	C
Gel	Não	Não	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Não	Sim	Sim
Chapa	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Sim
v (m/s)	1841	2519	2079	2137	2749	2769	2491	2062	1943	2764
σ (m/s)	-	-	349	355	397	575	266	419	359	838

O Ensaio Sónico permitiu determinar as zonas menos densas da parede, tendo sido desta forma possível identificar as heterogeneidades da alvenaria. Não foram verificadas vantagens claras na adopção de acopladores, já que não se verifica um decréscimo sistemático no valor do desvio padrão no caso da utilização de acopladores. Esta aplicação vem atestar o carácter qualitativo deste ensaio quando aplicado a alvenarias de pedra.

3 Macacos Planos

A técnica de Macacos Planos foi aplicada pela primeira vez a estruturas de alvenarias há quase 3 décadas. A impulsionar tal adaptação esteve o italiano P. P. Rossi que utilizou a referia técnica no "*Palazzo della Regione di Milano*"[6]. Entretanto a utilização dos Macacos Planos foi alvo de regulamentação específica [7, 8]. A técnica foi agora utilizada na parede de perpianho do edifício do Porto já referido na aplicação do ensaio sónico. Na figura seguinte apresentam-se imagens desse Ensaio.



a) b) c)

Figura 2: Ensaio com macacos planos: a) execução do corte; b) corte; c) aparelhagem utilizada.

Através da realização do Ensaio de Macacos Planos, por análise da lei de comportamento do material entre os dois macacos planos, obteve-se o Módulo de Elasticidade da alvenaria.

No gráfico da figura seguinte apresentam-se os resultados de um dos ensaios realizados no edifício.

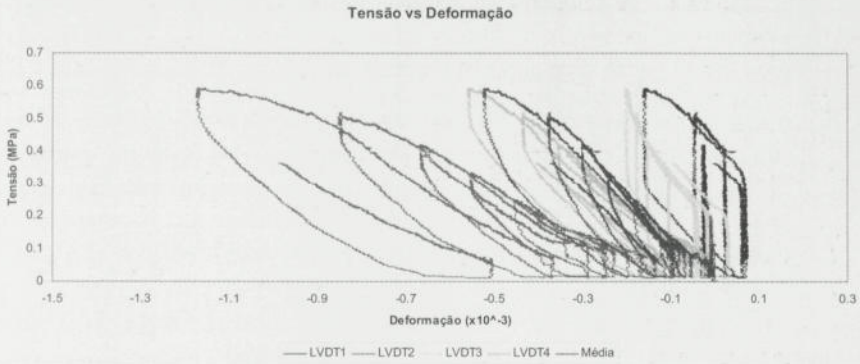


Figura 3 – Curva de comportamento da alvenaria estimada pelo ensaio de macacos planos duplos.

Os resultados obtidos permitiram estimar para módulo de elasticidade da parede o valor ($E_{médio}$ = 1,3GPa).

Ao longo do ensaio foi possível identificar algumas dificuldades inerentes aos ensaios realizados. Se, por um lado, já eram conhecidas algumas dessas dificuldades – determinação da área de contacto; adaptabilidade do material testado ao macaco [9]; dificuldade na remoção do macaco plano da parede – por outro lado, nos ensaios realizados neste tipo de parede constituída por pedras de grande dimensão e alguma irregularidade, verificou-se que há ainda que investigar a representatividade dos resultados, em particular face à, relativamente, reduzida dimensão dos macacos utilizados quando comparada com a espessura da parede (cerca de 40cm). Para além disso, neste tipo de construções as juntas são frequentemente preenchidas por pequenas pedras que após o corte tendem a cair, reduzindo de imediato a área de contacto entre o macaco e a alvenaria, contribuindo assim para uma maior dificuldade na aplicação de força à parede e na avaliação da pressão efectivamente aplicada.

4 Conclusão

Na presente comunicação apresentam-se trabalhos realizados pelo NCREP da FEUP no campo das técnicas NDT aplicadas a edifícios de alvenaria de pedra, em particular à aplicação do Ensaio de Macacos Planos e do Ensaio Sónico a um edifício da cidade do Porto. Apesar de ambas as técnicas necessitarem de investigação na aplicação aos nossos edifícios, pode-se concluir que:

a) o Ensaio Sónico permite uma avaliação fundamentalmente qualitativa, mas de grande interesse, pois dá indicações de do estado das pedras e (ou) das paredes e, por comparação, da existência de zonas mais ou menos degradadas. Nos ensaios realizados foi possível identificar as

zonas menos compactas da parede. Permitiu também concluir que a adopção de materiais de acoplamento do acelerómetro na aplicação a paredes de pedra com superfícies rugosas não traz vantagens claras.

b) o Ensaio de Macacos Planos, apesar das dificuldades gerais inerentes à sua realização e aquelas que são específicas do tipo de estruturas ensaiado e à necessidade de investigação, mostrou fornecer bons resultados na determinação do módulo de elasticidade e das curvas de comportamento de uma parede de perpianho de granito de um edifício da cidade do Porto.

5 Bibliografia

[1.] Binda, L. and A. Saisi. *Non Destructive Testing applied to historic buildings: the case of some Sicilian Churches. in 3.rd International Seminar: Historical Constructions - Possibilities of Numerical and Experimental Techniques.* 2001. Guimarães, Portugal.

[2.] Binda, L., A. Saisi, and C. Tiraboschi, *Application of sonic tests to the diagnosis of damaged and repaired structures.* NDT&E international, 2001.

[3.] Binda, L., *"Le Strutture Murarie: Individuazione, Rappresentazione e Valutazione del Degrado Statico" in A. Migliacci*, F. Mola, S. Tattoni; "Consolidamento e Recupero dei Centri Urbani", in Consolidamento e Recupero dei Centri Urbani, CLUP, Editor. 1988, CLUP: Milano. p. 135-173.

[4.] Binda, L., *Struture Murarie: su alcuni metodi di indagine, in Il Recupero del Patrimonio Edilizio Storico; Orientamenti Metodologici e Problemi Operativi.* 1981: Ancona.

[5.] Andrade, P.B.d., *Estimativa da Profundidade de Fendas no Concreto através da Utilização do Ultra-som e Eco-Impacto*, in Engenharia Civil. 2007, Universidade Federal de Santa Catarina: Florianópolis.

[6.] Binda, L., et al., *"Evaluation of the Statical Decay of Masonry Structures: Methodology and Practice"*, in 6th I.B.Ma.C. 1982: Roma.

[7.] ASTM, *C 1196-91 Standard Test Method for In Situ Compressive Stress Within Solid Unit Masonry Estimated Using Flatjack Measurements*, A.A.f.T.a. Materials, Editor. 1991.

[8.] RILEM, *In situ stress tests based on the flat jack.* 1990, RILEM.

[9.] Woodham, D.B. and M.P. Schuller. *Development of a flexible flatjack for quantitative evaluation of masonry. in 9th North American Masonry Conference.* 2003. Clemson University.

EXEMPLO DE APLICAÇÃO DAS TIC NA REABILITAÇÃO: PROJECTO HKNOW DO 7º PQ

Alfredo Soeiro*
avsoeiro@fe.up.pt

Ana Sá†
vaz.sa@fe.up.pt

Resumo

O projecto HKNOW foi o primeiro projecto do 7º Programa Quadro a ser aprovado em 2008. O título é "Advanced Infrastructure for Knowledge Based Services for Buildings Restoring" (Infraestrutura Avançada para Serviços Baseados no Conhecimento na Reabilitação de Edifícios). Insere-se no tema 4 - NMP – "Nanosciences, Nanotechnologies, Materials and new Production Technologies". Enquadra-se no sub-programa Projecto de Colaboração Destinado a Pequenas e Médias Empresas (PMEs). Tem um financiamento total da Comissão Europeia de cerca de 1,9 M€ e um custo de cerca de 2,6 M€. Tem quinze parceiros de cinco países: Portugal, Itália, Alemanha, França e Espanha. Os parceiros Portugueses são a 3M2P, INESC, FEUP, STB e Vortal. O projecto resulta da existência de um número crescente de obras complexas de reabilitação de edifícios que exigem o acesso rápido e sistemático ao conhecimento específico deste tipo de obras. Uma abordagem promissora para facilitar tal acesso passa por providenciar às PMEs da construção e reabilitação o conhecimento através da colaboração em redes empresariais constituídas por essas empresas e por parceiros dedicados à investigação e ao desenvolvimento (ID). Estas soluções inovadoras para estas comunidades PME-ID destinam-se a criar e a reutilizar o conhecimento utilizado em trabalhos semelhantes e a assegurar um fluxo bidireccional entre os dois sectores. Este projecto vai permitir: (a) a disponibilização para a comunidade do conhecimento fundamental e a organização do conhecimento tácito das PMEs na reabilitação de edifícios e (b) a colaboração empresarial mais próxima entre PMEs e ID. A intenção é também de assegurar maior eficiência na disseminação do conhecimento fundamental ao criar uma prestação serviços com valor acrescentado para utilizadores potenciais. O projecto planeia desenvolver soluções baseadas nas tecnologias de informação e de comunicação que sejam satisfatórias para as PMEs que incluam (1) conhecimento inovador, competitivo e formador através da prestação de serviços e (2) apoio para realização de formas novas de colaboração PME-ID de funcionamento em rede.

Palavras-chave: Reabilitação de edifícios, PME, TIC, Universidade-Empresa, ID.

* Professor Associado - Construções, DEC, FEUP.
† Engenheira Civil - Construções, DEC, FEUP

1 Análise e Necessidade deste Projecto

O número crescente e complexo de trabalho na indústria de construção, particularmente para a renovação, a recuperação e a manutenção de edifícios de edifícios antigos, pertencendo frequentemente a edifícios de património arquitectónico e cultural, sugere uma abordagem sistemática e sofisticada permitindo um acesso avançado e sistemático ao conhecimento sobre processos e materiais nesta área da construção. As soluções inovadoras para utilizar redes de colaboração de conhecimento e de negócio envolvendo PMEs e parceiros de Investigação e Desenvolvimento (ID) precisam de ser criadas e ensaiadas. A natureza do trabalho de manutenção e de reparação de edifícios implica organizações competentes e flexíveis, ou seja, PMEs especializadas. A prática do conhecimento e do negócio nesta área tem sido implementada através das PMEs tradicionais que predominam nesta área e estas, de um modo geral, estão distantes das exigências contemporâneas deste tipo de actividade. Assim, as PMEs que tratam da manutenção e da reparação de edifícios são confrontadas com dois problemas tipo:

(a) Responder às exigências crescentes para a execução dos processos de reabilitação, a aplicação de conhecimentos específicos, processos tecnológicos e materiais novos, e assegurar uma satisfação elevada dos donos de obra. Tudo isto é acompanhado pela pressão para reduzir materiais e consumo de energia e daí surgir também uma necessidade das PMEs em terem acesso ao conhecimento sobre outras obras e outros empreiteiros do sector. Para facilitar este acesso permanente aos componentes do conhecimento para a aplicação em projectos diferentes propõe-se uma maneira eficiente de colaboração entre PMEs e ID. Esta proposta pode ainda enriquecer o acesso passivo ao conhecimento com componentes de interactividade que, por sua vez, resultarão numa criação intensiva de casos de estudo ao longo do desenvolvimento dos projectos e das obras. Tal conhecimento terá uma importância com valor acrescentado para finalidades de aprendizagem e de formação. As soluções inovadoras nas redes colaborativas de conhecimento baseiam-se numa aprendizagem bidireccional: PMEs para os repositórios e conhecimento e as IDs para o funcionamento colaborativo e do conhecimento implícito das PMEs.

(b) A outra necessidade sublinhada pelas PMEs é a de estabelecer uma colaboração mais próxima dentro deste sector com uma aliança de PMEs e de IDs permitindo a criação de equipas integradas para lidar com obras complexas. O trabalho em rede nesta actividade assegurará uma eficiência mais elevada dos processos da cooperação e da integração do desenvolvimento de serviços com um valor acrescido para os donos de obra.

As soluções que possam assegurar o ritmo do desenvolvimento da economia baseado no conhecimento têm sido baseados em sistemas avançados de Tecnologias de Informação e de Comunicação (TIC) que usam as infra-

estruturas, ferramentas e serviços para permitir o uso imediato ao conhecimento e à informação do negócio. A sustentação à criação de conhecimento integrado das equipas das redes colaborativas de conhecimento através das soluções de TIC é o meio para avançar na área de reabilitação de edifícios. Tais sistemas devem para ser integrados com sistemas de aprendizagem que devem suportar a organização da formação nos tópicos específicos da reabilitação e de estruturas organizacionais inovadoras. Estas soluções para o utilizador de TIC devem ser acessíveis, amigáveis e de uso intuitivo para PMEs em termos de custos e de complexidade.

2 Objectivos do Projecto HKNOW

Uma vez que as empresas de reabilitação têm uma especialização técnica de âmbito estreito as PMEs devem procurar estruturas inovadoras do negócio de modo a oferecer uma competência técnica significativamente mais alargada através das equipas integradas com os IDs e com outras PMEs do sector. O desafio principal é como fornecer uma solução avançada e de custo eficiente para os dois problemas principais descritos atrás. Depois de expor os objectivos da proposta o projecto planeia desenvolver uma solução baseada nas TICT que inclua (1) conhecimento e formação para a empresa que sejam inovadores e (2) uma sustentação avançada para a realização e formas novas para o trabalho em rede de PME-ID com integração específica do conhecimento e de competências dentro de uma estrutura nova da colaboração. O sistema deve fornecer a possibilidade para compartilhar, gerar e reutilizar de um modo interactivo o conhecimento específico da empresa e dos peritos.

Para cumprir as necessidades as PMEs estabelecer redes inovadoras baseadas no conhecimento de PME-ID, o projecto H-KNOW desenvolverá uma plataforma, em que os serviços da gestão do conhecimento para monitorar as fontes do conhecimento e da recolha dos indicadores relevantes serão complementados por serviços para a realização de redes colaborativas virtuais (RVC). Esta gestão relevante dos indicadores do conhecimento será focalizada em domínios específicos do conjunto enorme de trabalhos da reabilitação de edifícios. Permitirá uma combinação eficaz de um sistema avançado da provisão do conhecimento e da formação com um sistema de sustentação inovador do trabalho em rede, respondendo às seguintes exigências: (1) baseado na Internet, (2) utilizável por PMEs (em termos de custos de investimento e de recursos humanos), (3) assegurando um acesso permanente aos recursos específicos do conhecimento e aos peritos, (4) gravando o conhecimento gerado ao longo dos trabalhos da reabilitação e estruturando-o nos formatos para aprendizagem e reutilização, (5) formatos abertos suportando a colaboração entre os intervenientes no processo da construção, (6) utilizadores móveis suportados por acesso a uma estrutura com o conhecimento essencial, acessível em qualquer

lugar e em qualquer altura. Para conseguir estes objectivos o projecto de H-KNOW inclui a investigação sobre:

- A metodologia para (1) criação de RCV de PME-ID, apoiada por um conjunto de modelos e de métodos para a criação da rede tendo em conta os aspectos organizacionais, culturais e técnicos e (2) os procedimentos e modelos para estruturar e gerir o conhecimento, adaptados especificamente para as PMEs.
- Plataforma de suporte, albergando um conjunto de serviços para (1) gestão das interacções, (2) gestão do conhecimento e (3) *elearning*, como uma base de TIC para a administração do conhecimento competente avançado nesta área. A plataforma deve permitir o conhecimento interactivo que compartilhe entre IDs e PMEs dentro de RCV.
- O conjunto presta serviços de manutenção favorecendo a colaboração, reservando-a para os trabalhadores das PMEs que não são peritos de modo a poderem preparar respostas em contextos diferentes da colaboração.
- Serviços do gestão de conhecimento para compartilhar eficientemente o conhecimento dentro das redes de ID-PME.
- Definição e desenvolvimento de um formato óptimo de *elearning*, que deva incluir uma ligação próxima entre o conhecimento usado e o criado em projectos de reabilitação. A metodologia e as ferramentas de formação têm que ser adaptadas às necessidades das PME e ao nível da instrução.

O objectivo é usar a plataforma para suportar redes de PME-ID para criar o conhecimento específico, adicionando ao existente, necessário às actividades de reabilitação. É importante indicar que cada caso de estudo elaborará um domínio específico dos trabalhos de reabilitação na construção, usando e criando o conhecimento específico do domínio, mas que o sistema estará aberto para a adição e estruturação do conhecimento em todas as áreas da reabilitação (restauração e manutenção) da indústria de construção. O projecto pretende utilizar as tecnologias emergentes para a criação colaborativa das redes baseada em princípios de uma arquitectura orientada para os serviços como uma aproximação óptima para lidar com as exigências de respeito pela flexibilidade e pela dinâmica da colaboração em rede que é pretendida. Pretende-se que a combinação do *elearning* e da gestão do conhecimento forneça as competências desejadas para benefício de todos e para permitir a criação inovadora de formação.

3 Organização do Projecto

A estrutura será executada de modo a aplicar a aproximação à arquitectura baseada na prestação de serviços utilizando o sistema colaborativo de referência (CRA) [1]. Este está orientado de acordo com as recomendações propostas

pelo grupo de peritos do EC [2] (Figura 1). A plataforma incluirá as tarefas resumidas na parte superior que tem que ser ligado directamente ao conjunto de informação de modo a fornecer às empresas de reabilitação como o conhecimento está relacionado e os recursos de aprendizagem. A aplicação da arquitectura do projecto orientada para os serviços permite a flexibilidade total e a activação eficaz para a reabilitação em diferentes obras. A experiência de projectos anteriores onde se usou uma arquitectura idêntica, compreendendo a colaboração para a produção de serviços foi realizada para aplicações industriais diferentes [3]. O CRA permitirá combinar serviços denominados centrais (CS), como mostrado na Figura e, com os serviços específicos das várias aplicações colaborativas (CASS) para suportar directamente as equipas PME-ID em actividades específicas da reabilitação.

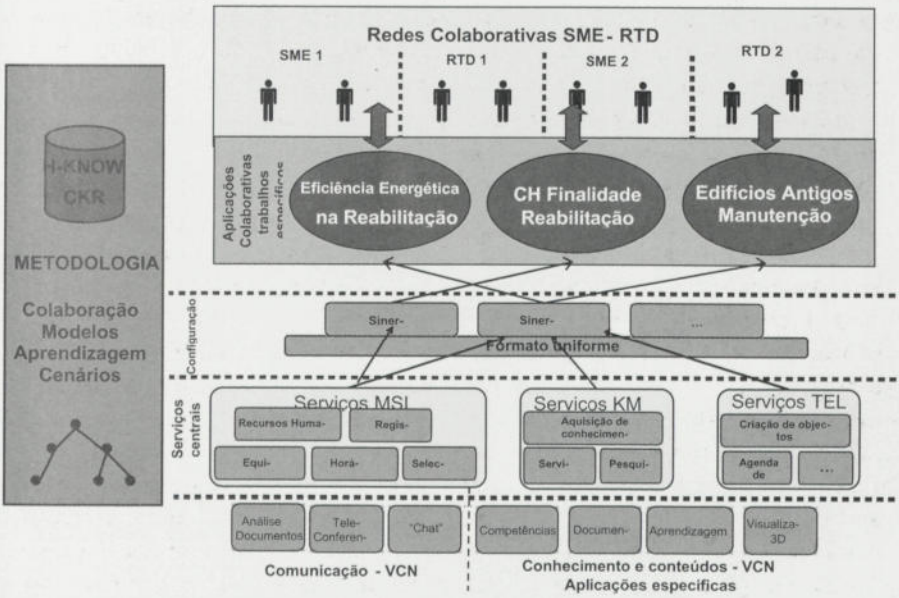


Figura 1: Organigrama do Projecto.

4 Plano de Trabalhos

HKNOW é um projecto fortemente orientado para o utilizador final. A sequência das actividades encontra-se na Figura 2. A divisão em fases compreende sete grupos de trabalho e que são:

- No início do projecto os utilizadores finais, IDs e PMEs, poderão definir os cenários pretendidos e identificar as soluções para validação dos resultados do projecto.

- Ao mesmo tempo, será feita uma pesquisa dos métodos, ferramentas e tecnologias de modo a poderem ser criados os cenários de avaliação pelos potenciais utilizadores finais.
- Uma vez identificados os requisitos dos utilizadores finais, o projecto HKNOW elaborará os métodos, plataformas e serviços de modo a validar os resultados do projecto. A especificação continuará com a inclusão da legislação.
- A metodologia e ontologia do projecto serão desenvolvidas de modo a testar o conhecimento relevante para o projecto.
- Será desenvolvido um protótipo de modo a testar, com os utilizadores finais as características e capacidades do modelo. Após a calibração do modelo será desenvolvido o modelo final.
- Os protótipos serão instalados nos servidores dos utilizadores finais do projecto de modo a criar um ambiente de trabalho que possibilite a colaboração em termos reais.
- Os quatro modelos do projecto envolvendo os parceiros dos cinco países serão instalados e servirão de demonstração para os intervenientes no sector da reabilitação de edifícios.

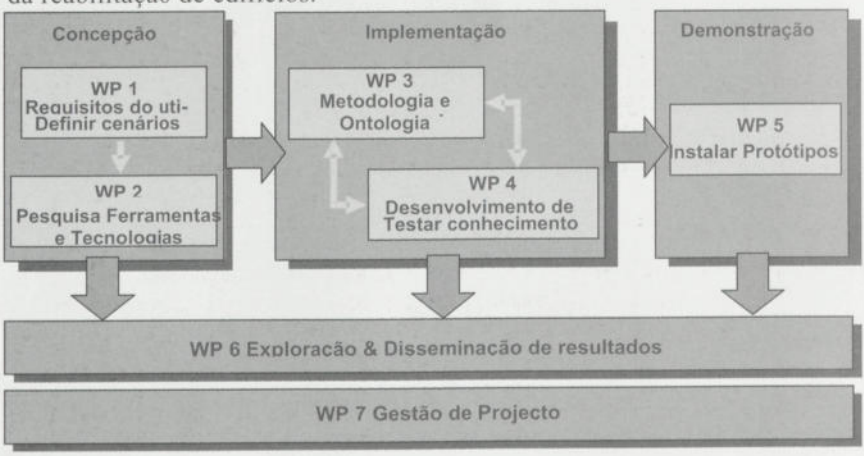


Figure 2: Fases principais do projecto.

5 Bibliografia

[1] Ralli C.; *Collaboration Reference Architecture*. Workshop on eCollaboration in working environments, VUB, Brussels, November, 2005.

[2] EC Expert group; *Towards Activity-oriented Collaborative Working Environments - A Research Roadmap 2007 – 2020*. Responsible EC officer and editor I. Laso-Ballesteros, DG Information Society, Rapporteurs N. Mehandjiev and D. Stokic, 2006.

[3] Bekhti S., Matta N; *Traceability and knowledge modelling*. COOP2002, 2002.

A INTERNET COMO MEIO DE DISSEMINAÇÃO DE UM CATÁLOGO DE PATOLOGIAS

www.patorreb.com

Vasco Peixoto de Freitas*
vpfreita@fe.up.pt

Sandro Alves†
sandroalves20@gmail.com

Marília Sousa‡
mariliamfsousa@yahoo.com

Resumo

Muito embora haja uma preocupação crescente com a qualidade da construção, verifica-se que os edifícios construídos nos últimos anos não apresentam a qualidade e a durabilidade esperada. A falta de sistematização da informação origina erros e patologias repetidos múltiplas vezes.

O Grupo de Estudos da Patologia da Construção – PATORREB desenvolveu um catálogo de patologias disponível em www.patorreb.com, constituído por um conjunto de fichas que incluem a descrição da patologia, sondagens e medidas, causas e recomendações.

Recentemente foram desenvolvidas duas funcionalidades complementares: a "Zona Bibliografia" e a "Zona Terminologia".

Esta comunicação apresenta o trabalho desenvolvido evidenciando as vantagens da sistematização e da divulgação do conhecimento da patologia da construção.

Palavras-chave: Patologia, Catálogo, Fichas, Bibliografia, Terminologia.

1 Introdução

Apesar de existir uma preocupação crescente com a qualidade da construção, muitos dos edifícios construídos nos últimos anos não apresentam o desempenho e a durabilidade esperada e não existe informação disponível com a sistematização das principais patologias que afectam esses edifícios.

* Prof. Catedrático da FEUP. Director do Laboratório de Física das Construções.
† Mestrado em Eng. Civil. Colaborador do Laboratório de Física das Construções.
‡ Mestrado em Eng. Civil. Prof. Eng.º Vasco Peixoto de Freitas, Lda.

A física das construções constitui um instrumento importante no dimensionamento dos elementos de construção. Contudo, nem sempre são utilizados os conhecimentos disponíveis, o que explica muitos dos erros observados. No mínimo, deveria utilizar-se a informação disponível sobre patologia da construção de forma a evitar a escolha de soluções inadequadas.

O registo dos erros e a análise das causas que lhe deram origem, bem como a sua divulgação, são fundamentais para o conhecimento das patologias mais frequentes. Neste sentido, o Laboratório de Física das Construções da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (LFC – FEUP) liderou o desenvolvimento do site www.patorreb.com [1], onde se procede à publicação e divulgação de um catálogo de patologias [2]. O site foi criado em 2003 e disponibilizado ao público em 2004, tendo um número de consultas médio em 2008 de 2000 utilizadores por mês.

2 Catálogo de Patologias – www.patorreb.com

No site www.patorreb.com procede-se, fundamentalmente, à divulgação de um catálogo constituído por um conjunto de fichas de patologia da construção [3]. As fichas encontram-se organizadas em 18 grupos, em função do elemento construtivo no qual se manifestou o problema (Figura 1).

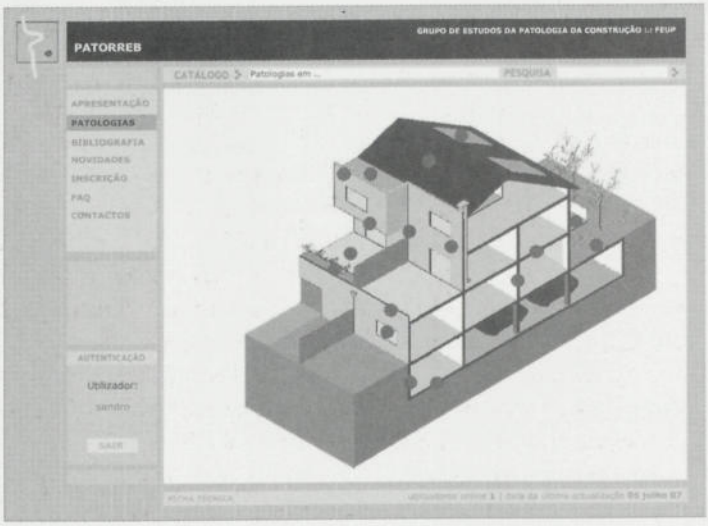


Figura 1: Organização do catálogo de patologias.

Cada ficha de patologia apresenta a descrição de um único fenómeno e ocupa apenas uma página A4. São redigidas de uma forma tão clara e objectiva quanto possível e incluem a identificação e descrição da patologia, sondagens e medidas, causas e recomendações (Figura 2).

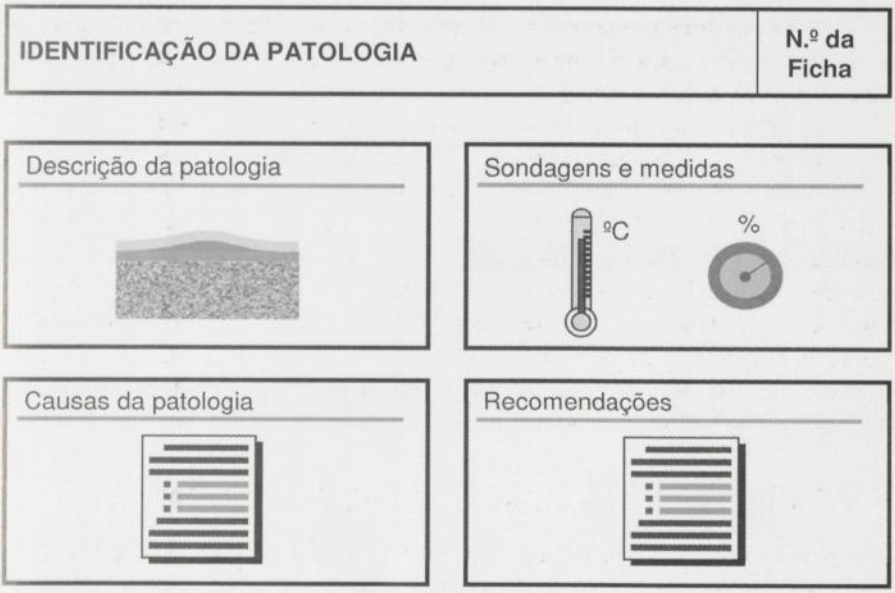


Figura 2: Organização das fichas de patologia.

A "identificação da patologia" inclui a indicação do elemento construtivo no qual se manifestou o problema e a indicação do fenómeno físico em estudo. Um número sequencial é atribuído a cada ficha publicada, bem como são apresentadas palavras-chave, definidas de forma a permitir a fácil identificação do problema estudado.

No campo "descrição da patologia" é apresentada, de forma sintética, a patologia em análise, sendo indicados os principais sinais observados e caracterizado sumariamente o elemento em que se manifestou o problema. A descrição da patologia tem como base a observação visual e o registo fotográfico, privilegiando-se a informação gráfica, de modo a permitir identificar, de forma inequívoca, a patologia em estudo.

No campo designado por "sondagens e medidas" são indicadas as acções que foram necessárias para um exame detalhado da patologia, tais como a realização de sondagens e de medidas em laboratório ou "in situ".

As patologias podem ter origem em diversas causas resultantes da conjugação de vários factores, sendo por isso de enorme importância a experiência do técnico que avalia o problema.

Finalmente, cada ficha apresenta algumas recomendações, definidas com base no estudo de diagnóstico realizado e nas causas do problema. Compete assinalar que se tratam de recomendações específicas para o caso em análise, não devendo ser generalizadas para resolver problemas que aparentemente possam ser considerados análogos.

As 85 fichas actualmente disponíveis podem ser consultadas gratuitamente a partir do site (Figura 3), ou descarregadas para posterior impressão (Figura 4).

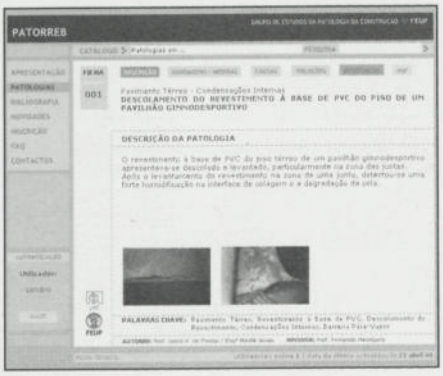


Figura 3: Campo "Descrição da patologia" visualizado a partir do site.

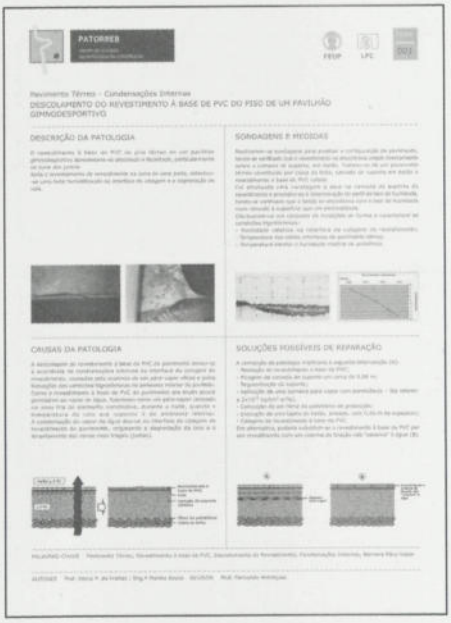


Figura 4: Exemplo de uma ficha descarregada do site.

3 Zona Bibliografia

A "Zona Bibliografia", implementada recentemente [4], visa compilar as referências bibliográficas das fichas de patologia e disponibilizar aos utilizadores do site uma base de dados temática com as referências das publicações, normas e sites mais relevantes no domínio da patologia da construção.

A base de dados é constituída por um conjunto de referências bibliográficas, numeradas de forma sequencial e compiladas em cinco grupos (livros, teses, artigos, normas/regulamentação e sites). A pesquisa de uma determinada referência pode ser efectuada manualmente, acedendo à "Zona Bibliografia" a partir do menu lateral esquerdo do site ou, utilizando ferramentas auxiliares, como a pesquisa por palavra-chave ou a ordenação das referências por "autor" ou por "ano" (Figura 5).

A articulação desta nova zona com as fichas de patologia permite introduzir as referências bibliográficas das fichas publicadas no site (Figura 6).

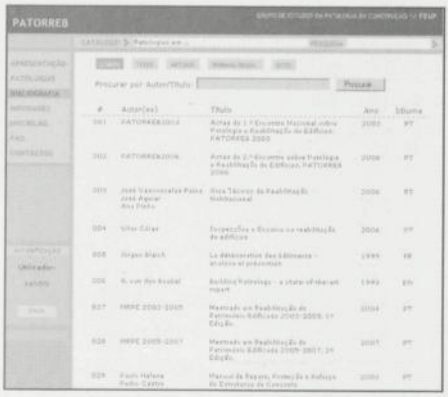


Figura 5: Listagem "Livros" da "Zona Bibliografia".

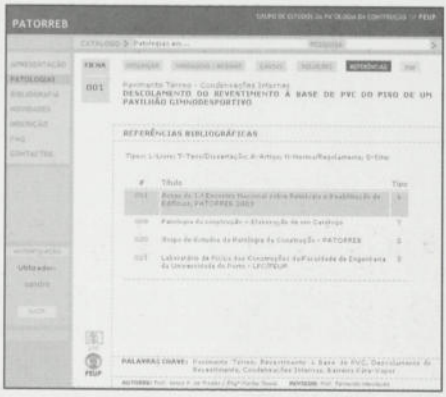


Figura 6: Referências bibliográficas da Ficha n.º 001.

4 Zona Terminologia

A "Zona Terminologia", que se encontra em fase de implementação, contém a definição dos conceitos e parâmetros mais utilizados em patologia da construção e pretende contribuir para a uniformização da linguagem utilizada nas fichas de patologia. Para além das definições surgem fotografias que permitem uma melhor percepção dos conceitos em causa (Figura 7).

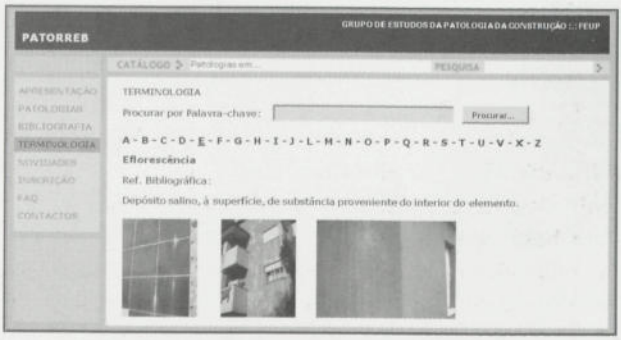


Figura 7: "Zona Terminologia" do site www.patorreb.com.

5 Conclusões

As principais conclusões desta comunicação são as seguintes:

— Na construção tradicional as soluções eram validadas pela experiência. A industrialização e a ausência de dimensionamento das soluções construtivas conduziram ao aumento de patologias;

BIBLIOTECA F.E. PORTO

— A física das construções é um instrumento fundamental para a previsão dos problemas e dimensionamento das soluções;

— O conhecimento das patologias da construção permite evitar que se repitam os mesmos erros vezes sem conta;

— O site www.patorreb.com constitui um instrumento de carácter pedagógico e científico para a divulgação e sistematização da patologia da construção;

— A patologia da Construção e a Reabilitação do Património Edificado são áreas do conhecimento que deverão ter um espaço próprio no ensino universitário.

6 Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer aos Professores do Corpo Editorial do Grupo de Estudos da Patologia da Construção – PATORREB, sem os quais este projecto não teria sido possível.

O Grupo de Estudos da Patologia da Construção da Construção – PATORREB agradece também o apoio das seguintes instituições e empresas: APFAC, ERCM, FASE, GPAU, IBERFIBRAN, IMPERBOR, J. Gomes, Lusomapei, Mota-Engil, Onduline S.A., Openline Portugal, OZ, RAR, Saint-Gobain Weber Cimenfix, Secil Martingança, Sika Portugal S.A., Sotecnisol, STB, Teprocil, Tintas CIN e Vimaplás.

7 Bibliografia

[1] Grupo de Estudos da Patologia da Construção (www.patorreb.com). 16/10/2008.

[2] Freitas, V. P. de, Alves, S. M., Sousa, M. *Um Contributo para a Sistematização do Conhecimento da Patologia da Construção em Portugal – www.patorreb.com*. 2.º Congresso Nacional de Argamassas de Construção, 22 e 23 de Novembro de 2007, FIL, APFAC, Lisboa.

[3] Sousa, M. *Patologia da Construção – Elaboração de um Catálogo*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – FEUP, 2004.

[4] Alves, S. M. *www.patorreb.com – Um Contributo para a Sistematização da Patologia da Construção*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – FEUP, 2008.



SESSÃO XXVII

ESCOLAS

A APLICAÇÃO DE MÉTODOS DE ANÁLISE DE RISCO NA GESTÃO DA MANUTENÇÃO DE PARQUES EDIFICADOS ESCOLARES

Sónia Raposo*
sraposo@lnec.pt

Manuel Fonseca†
mfonseca@lnec.pt

Jorge de Brito‡
jb@civil.ist.utl.pt

Resumo

Existem inúmeros estudos de investigação que têm vindo a demonstrar que métodos de análise de risco como o Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) e o Reliability Centred Maintenance (RCM) podem ser aplicados, com inúmeras vantagens, na definição de estratégias de manutenção de parques edificados. Estes métodos de análise de risco permitem, de uma forma qualitativa ou quantitativa, a identificação de riscos, em sistemas mais ou menos complexos, dos mecanismos que podem induzir o aparecimento desses riscos e das formas de prevenir ou minimizar as respectivas consequências. A associação destes métodos com o conceito de análise de custos ao longo da vida útil do edifício, whole life costing, permite definir opções de manutenção de uma forma objectiva e fundamentada.

Nesta comunicação, são apresentados os métodos de análise de risco referidos, são apresentadas algumas das linhas de investigação que têm vindo a ser seguidas a nível internacional e são discutidas as possibilidades e vantagens de aplicação destas metodologias ao caso do parque edificado das escolas do 1º ciclo da cidade de Lisboa.

Palavras-chave: Estratégias de manutenção, Análise dos modos de falha e dos seus efeitos, Gestão da manutenção, Escolas primárias.

1 Introdução

A gestão de parques edificados, como os escolares públicos, abrange um conjunto de processos e de actividades que têm como finalidade prever, adap-

* Assistente de Investigação. N. Tecnologia da Construção, Dept. Edifícios, LNEC.
† Investigador Principal. N. Economia e Gestão da Construção, Dept. Edifícios, LNEC.
‡ Professor Associado com Agregação. Dept. Engenharia Civil e Estruturas, IST.

tar e fornecer os meios imobiliários necessários à actividade de ensino, fornecendo-os nas melhores condições de segurança, de uso, de custo global e de conforto. A entidade gestora deve considerar aspectos de ordem estratégica, de gestão das propriedades e de gestão técnica. A gestão será tanto mais eficaz e eficiente quanto melhor for a gestão de informação sobre o património gerido e as actividades e recursos humanos envolvidos.

A gestão da manutenção deve ser considerada como uma actividade integrada nas restantes funções de gestão do parque edificado, estando condicionada por opções estratégicas e financeiras da entidade gestora. O estado de conservação ou de degradação física dos edifícios é um dos elementos a ter em conta, nas opções de realização da actividade de manutenção. A realização de inspecções aos edifícios resultam em relatórios de constatações sobre a localização, frequência e extensão das anomalias que são avaliados com base em critérios que, de uma forma geral, têm em conta a análise do risco da existência de cada anomalia face à segurança e saúde dos utilizadores e à utilização dos espaços para os fins previstos.

Diversos métodos de análise de risco como o *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)* e o *Reliability Centred Maintenance (RCM)* têm sido utilizados e adaptados ao sector da construção em diversas áreas, como a da manutenção dos edifícios. São métodos que permitem a análise de sistemas ou componentes cujo grau de deterioração e de comportamento em serviço se reveste de graus de incerteza grandes o que se reflecte no planeamento e na definição de opções de manutenção.

2 Os métodos FME(C)A e RCM

O método *FMEA* é um método de análise de risco indutivo, que permite avaliar, para um sistema ou componente, os modos de falha possíveis, as respectivas causas, efeitos, os meios de detecção e prevenção e de mitigação dos seus efeitos. São sete os passos principais de aplicação do método [1]: análise e hierarquização do sistema (1), selecção do subsistema a analisar (2), estudo funcional e selecção de um estado de funcionamento (3), identificação dos modos potenciais de falha (4), identificação dos efeitos possíveis dos modos de falha (5), identificação das respectivas causas (6) e identificação dos métodos de detecção e prevenção (7). Num estudo com análise de criticidade *FME(C)A,* são estimados factores de gravidade do modo de falha em estudo (S), de probabilidade de ocorrência (O) e de probabilidade de detecção (D). A análise da criticidade passa pelo cálculo do Número de Risco de Prioridade (NPR) calculado pelo produto dos três factores referidos.

Lair [2] descreve as potencialidades de utilização do *FMEA* durante as fases de concepção e instalação (construção) e utilização (Tabela 1).

Tabela 1: Utilização do método FMEA nas fases de concepção (instalação) e uso [2].

Fase do processo construtivo		Resultados	Objectivos
Concepção e Instalação	Análise de Risco	Melhorar a qualidade e a fiabilidade durante a fase de concepção através da identificação de potenciais problemas e da estudo de prioridades.	Identificação dos pontos fracos/sensíveis do produto ou componente.
	Gestão da Qualidade	Melhorar os procedimentos de construção / instalação (transporte, armazenamento e montagem) e de uso. Identificação de fontes de problemas e desenvolvimento de listas de verificação.	Identificação de operações críticas (instalação, uso) ou de componentes críticos que provocam situações de degradação ou de falha.
Uso	Manutenção preventiva	Melhorar os procedimentos de manutenção proactiva através da identificação de problemas, atribuição de prioridades e de propostas de soluções de manutenção.	Previsão do comportamento potencial do elemento ao longo do tempo e avaliação da criticidade das possíveis consequências.
	Manutenção condicionada	Melhorar os procedimentos de manutenção reactivos através da identificação de problemas e prioridades e proposta de soluções de manutenção ou de reparação.	Identificação dos sintomas de aviso de falha, diagnóstico da degradação, previsão do comportamento futuro e avaliação da sua criticidade.
	Manutenção correctiva	Melhorar os procedimentos correctivos através de explicação da falha e da proposta de soluções de reparação.	Identificação da causa da falha através da observação e diagnóstico.

O método *RCM* tem como finalidade analisar as consequências da ocorrência de falhas. Refira-se que a ocorrência de falha, por si só, pode não ser relevante ou importante para o funcionamento do componente ou sistema.

3 Estratégias de manutenção de edifícios

A utilização integrada do *FMEA* e do *RCM* na definição de estratégias de manutenção de parques edificados, tem sido estudada no Reino Unido, pela Universidade de Dundee [3][4] e pelo BRE [2]. Em França, o CSTB tem vindo a desenvolver actividade de aplicação do método *FME(C)A* como auxiliar de decisão de realização de actividades de manutenção [2][5].

3.1 Fases de desenvolvimento do método integrado

Na Figura 1, apresenta-se esquematicamente as fases de desenvolvimento do método britânico, designado de integrado, porque incorpora a utilização dos métodos *FMEA* e *RCM* [4]. Uma das fases críticas, consiste na realização do chamado modelo de integração física e funcional. Este modelo é realizado

através da atribuição a cada elemento físico do edifício de uma ou mais exigências funcionais que esse elemento deve desempenhar.



Figura 1: Fases de desenvolvimento do método britânico [2][3][4].

Na Figura 2, apresenta-se um extracto do modelo da integração funcional, considerando exigências de segurança, salubridade e conforto. Cada exigência foi dividida em sub-exigências em que, por exemplo, para a exigência de segurança, foram considerados os aspectos de: resistência mecânica e estabilidade (RME), segurança ao incêndio (SI), segurança contra intrusão e vandalismo (SIV) e segurança na utilização (SU) [6].

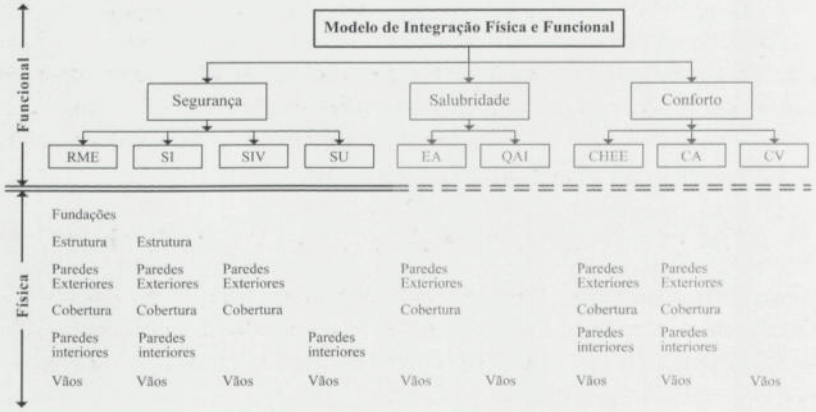


Figura 2: Modelo de integração física e funcional (adaptado de [4]).

A identificação da exigência funcional de cada elemento permite estudar, através do *FMEA*, os potenciais modos de falha (MF), as respectivas causas e os efeitos da ocorrência da falha. Este método é na sua essência exaustivo e

nele devem ser encaradas todas as possíveis causas do MF, que podem abranger: má concepção, má adequabilidade de materiais ao uso previsto, degradação natural dos materiais e falta de manutenção.

Listados os efeitos da ocorrência de um dado modo de falha, estes são avaliados através do método de decisão *RCM* que permite estudar o respectivo impacto ao nível da saúde e segurança dos utentes, económico ou de utilização do espaço [4]. A segunda fase de aplicação do *RCM* consiste na avaliação e selecção do tipo de trabalhos de manutenção face ao impacte do MF (Figura 3).

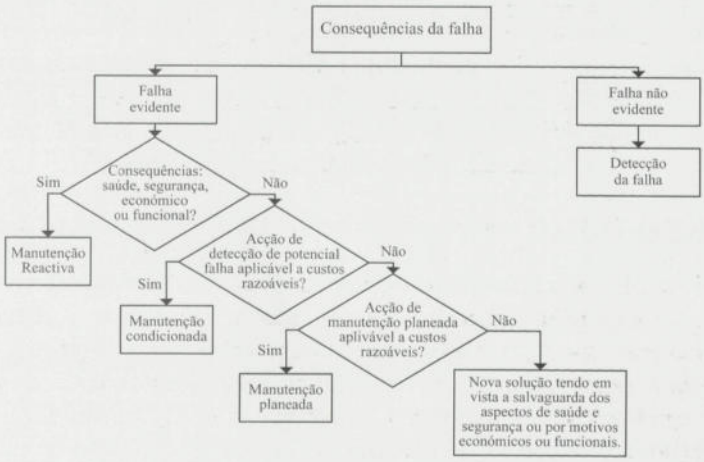


Figura 3: Análise lógica da selecção do trabalho de manutenção [4].

O método de análise integrado termina com a definição dos recursos necessários à execução das actividades de manutenção seleccionadas: recursos humanos, materiais, recursos informáticos equipamento de inspecção e ensaio e informação actualizada de cada edifício.

4 Aplicação às escolas EB1 da cidade de Lisboa

O parque edificado das escolas básicas EB1 da cidade de Lisboa é constituído por cerca de 90 edifícios, tendo sido escolhidos 5 deles, para estudo e aplicação do método que está a ser desenvolvido, no trabalho de doutoramento em curso, com base nos métodos de análise de risco.

O trabalho recorre ao desevolvimento de bases de informação (módulos), contendo informação sobre os edifícios em estudo, relatórios das visitas efectuadas em 2007 [7] e a efectuar em 2009, fichas de anomalias e de trabalhos de manutenção (e custos) existentes na Câmara Municipal de Lisboa (entidade gestora) e fichas existentes no país e em países europeus.

A actividade de manutenção nas EB1 de Lisboa, à semelhança de outros parques edificados públicos, tem um carácter essencialmente reactivo. Este tipo de trabalho raramente é o mais económico e mais eficaz, sendo necessário criar bases de conhecimento e de informação que permita à entidade gestora poder objectivamente seleccionar as melhores opções de manutenção.

5 Conclusões

Os métodos *FMEA* e *RCM* têm sido adoptados com resultados muito positivos na gestão da manutenção de parques edificados de outros países. A sua utilização permite estudar formas de optimização da selecção das actividades de manutenção a executar, optimizando a utilização dos recursos humanos e técnicos e reduzindo os gastos em matérias-primas, energia e combustíveis. A informação obtida através destes métodos (e de outras fontes de informação) permitirá ao gestor definir a melhor estratégia de manutenção.

6 Bibliografia

[1] Costa e Silva, S. R. *et al.* Metodologia *FMEA* e sua aplicação à construção de edifícios, *Encontro Nacional sobre Qualidade e Inovação na Construção QIC2006*, Novembro 2006: pp. 123-141.

[2] Talon, A. *et al. State of the Art Report on Failure Modes Effects and Criticality Analysis. Research for and Application to the Building Domain*, CIB W80 / RILEM 175SLM: Service Life Methodologies Prediction of Service Life for Buildings and Components, 2005.

[3] El-Haram, M. & Horner, Practical application of *RCM* to Local Authority Housing: A pilot study, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 8(2), 135-143.

[4] El-Haram, M. & Horner, M. Application of the principles of ILS to the development of cost effective maintenance strategies for existing building stock, *Construction Management and Economics*, 2003 (21), 283-296.

[5] Hans, J. *et al.* FMECA in Building Construction, a State of the Art. *UEAtc Workshop/Seminar on Construction Product Durability*, Madrid, Outubro 2005.

[6] Vasconcelos Paiva *et al. Recomendações Técnicas para Equipamentos Sociais - Creches. Novos estabelecimentos e estabelecimentos existentes.* Relatório 396/2007 (Confidencial). LNEC, Dezembro de 2007.

[7] Raposo, S. *et al.* Survey of the State of Degradation of the School Buildings of the Lisbon Region, *Durability of Building Material and Components 11*, Istambul, Maio 2008: pp. 1789-1796.

CARACTERIZAÇÃO DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO DO PARQUE ESCOLAR DA REGIÃO CENTRO

António Gama*
gama@dec.uc.pt

Eduardo Júlio†
ejulio@dec.uc.pt

Resumo

A Parque Escolar E.P.E. encomendou ao Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra um estudo relativo à inspecção e caracterização do estado de conservação de onze escolas do ensino básico/secundário, localizadas na região centro do país. Nesta comunicação indicam-se: (1) a metodologia adoptada para atingir os objectivos definidos; (2) a descrição dos sistemas construtivos e estruturais mais comuns observados; (3) os resultados mais relevantes relativos ao levantamento de anomalias construtivas e estruturais, bem como as suas causas prováveis; (4) as intervenções propostas; e (5) as principais conclusões extraídas do estudo efectuado.

Palavras-chave: Anomalias, Estado de conservação, Reabilitação.

1 Introdução

No âmbito do estudo contratualizado entre a Parque Escolar e o Departamento de Engenharia Civil da FCTUC, foram definidos os seguintes objectivos relativos aos edifícios a inspeccionar: (1) caracterização construtiva e estrutural dos edifícios; (2) levantamento de anomalias construtivas; (3) levantamento de anomalias em elementos estruturais; (4) avaliação das causas prováveis das anomalias; (5) diagnóstico do estado geral de conservação dos edifícios; e (6) propostas de intervenção.

* Professor Auxiliar Convidado do Departamento de Engenharia Civil da FCTUC.
† Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da FCTUC

2 Metodologia adoptada

Para proceder ao registo das anomalias observadas elaboraram-se fichas para: coberturas, fachadas, revestimentos dos espaços interiores e elementos estruturais. Estas fichas foram adaptadas das desenvolvidas por Vicente [1] e Araújo [2]. Para apoio à caracterização construtiva e estrutural e ao levantamento de anomalias foram igualmente efectuados registos fotográficos, incluindo-se os elementos mais significativos nos relatórios elaborados.

3 Descrição dos sistemas construtivos e estruturais

Os onze edifícios escolares estudados localizam-se em Coimbra (duas escolas), Figueira da Foz, Leiria (duas escolas), Marinha Grande, Montemor-o-Velho, Pombal, Alcobaça, Caldas da Rainha e Bombarral (duas escolas). Foram construídos entre 1948 e 1991. As escolas mais antigas apresentam uma distribuição funcional adaptada da dos liceus de finais do século XIX, as de meados do século XX foram construídas com o propósito de formação técnica e as mais recentes (anos 80 e 90 do século XX) são constituídas por vários blocos de idêntica tipologia ligados por galerias exteriores. Regra geral, as coberturas são de duas ou mais águas, revestidas a telha cerâmica assente sobre lajes aligeiradas de vigotas de betão pré-esforçado e abobadilhas cerâmicas ou sobre ripas de betão pré-esforçado suportadas por estruturas treliçadas de betão armado. Nas galerias de ligação dos diversos edifícios de uma dada escola, as coberturas são planas, em lajes aligeiradas. Os pavilhões desportivos estão revestidos com chapas metálicas assentes sobre lajes aligeiradas, suportadas por estruturas porticadas de betão armado de grande vão, ou com telha cerâmica, chapas metálicas simples ou em painel *sandwich*, sobre treliças metálicas. Nas escolas inicialmente construídas com vocação para o ensino técnico existe um edifício oficinal cuja cobertura é do tipo *shed*, em betão armado e caixilharia orientada a Norte. As fachadas estão executadas com panos duplos de tijolo cerâmico de 11 e 15cm de espessura, com caixa-de-ar de 6cm sem isolamento térmico e rebocadas e pintadas com tinta plástica ou texturada. As caixilharias são de madeira pintada com vidro simples ou de alumínio com vidro simples ou duplo. Os estores, quando existentes, são de PVC, de lâminas horizontais e comandados por fita enroladora. Os socos são em pedra bujardada ou em reboco saliente pintado a cor diferente da fachada. Nos espaços interiores, os tectos são, na sua generalidade, directos, rebocados ou estucados, pintados com tinta plástica. Em edifícios mais recentes, ou em edifícios antigos gradualmente renovados, existem tectos falsos revestidos a placas de cortiça, a placas de gesso cartonado ou a placas de gesso com 60x60cm^2 apoiadas em estruturas de alumínio lacado. As paredes das salas de aula e dos espaços administrativos são rebocadas e pintadas. Nos corredores, o acaba-

mento é semelhante, existindo, por vezes, lambrins pintados a tinta de esmalte tipo *kerapas* até à altura das vergas das portas. Os laboratórios e oficinas têm habitualmente lambrins em mosaico cerâmico. Os pavimentos das salas de aula, dos espaços administrativos e das oficinas são habitualmente executados com tacos de madeira de pinho envernizados ou encerados, ou em mosaico cerâmico. Os corredores e outros espaços de convívio comum estão revestidos a mosaico hidráulico ou cerâmico. Nas cozinhas, refeitórios, instalações sanitárias e balneários utilizaram-se mosaicos hidráulicos e cerâmicos, sendo estes últimos polidos, amaciados ou pitonados (anti-derrapantes). Em espaços recentemente renovados existem pavimentos flutuantes de madeira envernizada. A estrutura da generalidade das escolas é porticada com lajes aligeiradas. Os vãos dos pórticos e os afastamento entre eles variam entre 4.20m e 7.20m. Em três das escolas a estrutura é mista, consistindo em paredes exteriores resistentes de alvenaria de pedra aparelhada, de dimensão irregular e assente com argamassa de cal e areia, paredes de contraventamento interiores em tijolo maciço de 20cm de espessura e lajes aligeiradas suportadas por vigas de betão armado de grande secção e pequeno afastamento. Nas escolas mais antigas, a estrutura da cobertura, originalmente em asnas de madeira, foi substituída por lajes aligeiradas de betão armado.

4 Anomalias construtivas e estruturais

Nas coberturas de duas ou mais águas, as principais anomalias observadas consistem na falta de isolamento térmico, na existência de telhas partidas ou deslocadas, na deficiente rufagem em chaminés e clarabóias e no desenvolvimento de vegetação pioneira, por falta de limpeza (Figura 1a). Nas coberturas planas, regista-se a ausência de isolamento térmico e de protecção mecânica das telas de impermeabilização, desenvolvimento de vegetação pioneira (Figura 1b) e deficientes concordâncias das caleiras – executadas na camada de forma da cobertura – com os funis de descarga que conduzem as águas pluviais aos tubos de queda.


a)


b)

Figura 1: Vegetação pioneira: a) em cobertura de duas águas; b) em cobertura plana.

Nas paredes das fachadas, os panos duplos de alvenaria de tijolo têm caixa-de-ar sem isolamento térmico. Estas paredes estão alinhadas ou recuadas, rela-

tivamente aos pórticos estruturais de betão armado, não existindo, por isso, correcção de pontes térmicas. Observa-se ainda descasque de tinta por deficiente limpeza do suporte e não utilização de primários aquando de pinturas posteriores à original (Figura 2a). As caixilharias de madeira (Figura 2b) ou de alumínio com vidro simples não têm a eficiência necessária para edifícios com este programa. Os estores, muitas vezes de grandes dimensões, têm lâminas partidas. Os peitoris, na generalidade dos casos, são planos, em material pétreo poroso e com pingadeiras ocultas ou de dimensão insuficiente. Observam-se manchas de sujidade e de condensação, bem como manchas de humidade nas paredes com reboco exterior demasiado delgado. Alguns socos apresentam manchas de humidade ascensional.


a)

b)

Figura 2: a) Descasque de tinta; b) Caixilharia de madeira.

Os tectos e paredes interiores apresentam padrões de fissuração diversos provocados por movimentos estruturais de origem termo-higrométrica e por retracção dos rebocos (Figura 3a). Observam-se também manchas de condensação, devido à ausência de correcção das pontes térmicas e deficiente ventilação natural dos espaços, bem como escorrências e infiltrações por deficiente impermeabilização das coberturas (Figura 3b). Os revestimentos cerâmicos de lambrins e paredes estão gastos e com peças partidas. Algumas salas e espaços comuns estão revestidos com materiais muito reflectores, em termos acústicos, provocando sensação de mal-estar nos utentes. Os pavimentos em tacos de madeira estão em bom estado de conservação, quando sujeitos a operações de manutenção anual ou semestral, registando-se, nos outros casos, descolamento, apodrecimento e ausência de betumes nas juntas de assentamento. Os pavimentos em mosaico de marmorite estão em bom estado de conservação. Os pavimentos cerâmicos e de linóleo, consoante a qualidade do material utilizado, apresentam diferentes níveis de desgaste.

Registaram-se diversos padrões de micro e média fissuração em vigas e lajes de betão armado, com origem provável em movimentos estruturais de origem termo-higrométrica e sismos de baixa magnitude e pequena distância focal. Em alguns pilares e vigas observa-se o destacamento do recobrimento, com corrosão e corte de armaduras (Figura 4a). Estas anomalias são pontuais e não põem em causa a segurança nem a utilização dos edifícios. Particular aten-

ção requerem as juntas de dilatação – estas encontram-se geralmente preenchidas com argamassas e outros materiais impróprios, colocados em operações de manutenção mal executadas e causando a fissuração dos revestimentos adjacentes (Figura 4b).



a)



b)

Figura 3: a) Fissuração em paredes interiores; b) Infiltrações em paredes interiores.



a)



b)

Figura 4: a) Destacamento de recobrimento; b) Junta de dilatação preenchida com argamassa.

5 Intervenções propostas

As coberturas devem ser limpas e dotadas de isolamento térmico. As caleiras e tubos de queda devem ser substituídos, prestando particular atenção à concordância das telas com os funis de descarga. As coberturas planas são as que apresentam mais anomalias, originando igualmente mais anomalias nos espaços interiores, devendo ser prioritariamente intervencionadas. As telas de impermeabilização das coberturas planas devem ser munidas de isolamento térmico e protecção mecânica e devidamente rematadas às testas das lajes ou a muretes e platibandas.

Por motivos de eficiência energética e de conforto térmico, as fachadas devem ser dotadas de isolamento térmico adequado, seja por injecção da caixa-de-ar com produtos isolantes, seja recorrendo a sistemas de isolamento térmico pelo exterior (ETICS) ou a fachadas ventiladas. Os caixilhos devem ser substituídos por modelos mais eficientes, de alumínio com corte térmico ou de PVC, com vidro duplo correctamente dimensionado. Nas fachadas mais expostas, os

vãos devem ser protegidos por estores de lâminas horizontais orientáveis ou por palas de sombreamento.

Os tectos e paredes rebocados devem ser reparados e pintados. Os revestimentos cerâmicos, em linóleo ou em madeira devem ser reparados ou, consoante o nível de desgaste apresentado, substituídos por materiais mais duráveis. As anomalias em elementos estruturais, pontuais e de fácil reparação, devem ser tratadas com sistemas física, química e mecanicamente compatíveis com os existentes, com particular cuidado nas juntas de dilatação – estas devem ser abertas para o seu tamanho correcto, limpas, preenchidas com material adequado e protegidas com cobre-juntas.

6 Conclusões

Algumas das escolas inspeccionadas ultrapassaram já os 50 anos de utilização, correspondente ao seu ciclo de vida útil. A utilização de materiais duráveis, o cuidado técnico de execução e a facilidade de operações de manutenção das escolas mais antigas levam a que sejam estas as que têm um melhor estado geral de conservação.

A análise dos projectos tipo, elaborados ao longo dos tempos pelos diferentes ministérios da tutela, poderá permitir encontrar soluções tipo para a sua reabilitação arquitectónica, construtiva e funcional.

A quantidade e a variedade de anomalias observadas varia com os edifícios, mas é certo que, recorrendo a intervenções bem dirigidas e fundamentadas do ponto de vista arquitectónico, construtivo e funcional, é possível iniciar um novo ciclo de vida útil destes edifícios, com um baixo custo, procedendo à sua reabilitação, entendendo-se esta como "uma quase reconstrução de acordo com as normas actuais e não segundo as de origem; é tornar actual uma construção sem lhe alterar fundamentalmente o uso previsto, mas integrando, nesta operação, os níveis de conforto e segurança actualmente em vigor" [3].

7 Bibliografia

[1] Vicente, R. *Estratégias e Metodologias para Intervenções de Reabilitação Urbana. Avaliação da Vulnerabilidade e do Risco Sísmico do Edificado da Baixa de Coimbra*, Tese de Doutoramento, Universidade de Aveiro, 2008.

[2] Araújo, A. *Levantamento e Caracterização de Patologias Típicas de Construções em Betão Armado Edificadas em Portugal entre 1970 e 1995*, Tese de Doutoramento, Instituto Superior Técnico (em desenvolvimento).

[3] Groupe Moniteur. *Guide Socotec de la maintenance et de la réhabilitation*. Paris, Setembro de 2001.

CONSTRUÇÕES ESCOLARES EM PORTUGAL
Tipologias Construtivas e Principais Anomalias Estruturais e de Desempenho em Serviço

Fernando A. Branco[*]
fbranco@civil.ist.utl.pt

Jorge de Brito[†]
jb@civil.ist.utl.pt

João G. Ferreira[‡]
joaof@civil.ist.utl.pt

João Ramôa Correia[‡]
jcorreia@civil.ist.utl.pt

Pedro Vaz Paulo[**]
ppaulo@civil.ist.utl.pt

Inês Flores-Colen[**]
ines@civil.ist.utl.pt

Resumo

Neste artigo apresentam-se os principais resultados obtidos numa campanha de inspecções a edifícios escolares correspondentes a uma tipologia construtiva típica dos anos 80. É apresentada inicialmente a caracterização dessa tipologia. São depois descritas as anomalias estruturais, de durabilidade e funcionais mais frequentes, sendo analisadas as causas que estão na sua origem. Este estudo serviu de base à definição das medidas de reparação a implementar nos projectos de reabilitação/remodelação das escolas, que serão desenvolvidos pelos respectivos projectistas.

Palavras-chave: Construções Escolares, Anomalias, Elementos Estruturais, Durabilidade, Desempenho em Serviço.

1 Introdução

No âmbito de um projecto nacional de reabilitação das construções escolares, a empresa Parquescolar, E.P.E. solicitou ao ICIST a realização de um estudo às anomalias existentes em cerca de 50 escolas localizadas nas regiões Centro e Sul de Portugal.

Este estudo teve os seguintes objectivos: (i) caracterizar sumariamente as estruturas e os respectivos materiais das diferentes escolas; (ii) identificar as

[*] Prof. Catedrático do Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura do IST.
[†] Prof. Associado Agregado do Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura do IST.
[‡] Prof. Auxiliar do IST do Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura do IST.
[**] Assistente do Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura do IST.

principais anomalias nos elementos estruturais, relativas ao comportamento estrutural e à durabilidade; (iii) identificar as principais anomalias, estruturais e não-estruturais, causadas por infiltrações e humidades ascensionais; e (iv) para as diversas anomalias identificadas, indicar medidas para a sua reabilitação.

Para a realização do estudo, foram analisados os projectos das diferentes escolas e foram feitas peritagens, que incluíram basicamente inspecções visuais ao interior e exterior dos edifícios e ensaios não-destrutivos aos elementos estruturais. Neste artigo, apresentam-se os resultados obtidos neste estudo referentes a uma tipologia construtiva muito frequente das construções realizadas na década de 80. É inicialmente apresentada uma caracterização sumária dessas construções. De seguida, apresentam-se as anomalias estruturais, de durabilidade e funcionais mais frequentes, analisando-se as causas que estão na sua origem. A análise realizada servirá de base ao desenvolvimento dos projectos de remodelação/reabilitação das escolas.

2 Caracterização sumária das construções

As escolas secundárias, objecto da presente comunicação, são as seguintes: Escola Pedro Alexandrino (Póvoa de Santo Adrião), Escola Vergílio Ferreira (Carnide), Escola de Salvaterra de Magos, Escola José Saramago (Mafra), Escola de Ponte de Sôr e Escola Dr. António Carvalho de Figueiredo (Loures).

Estas escolas têm em comum o facto de apresentarem uma tipologia em pavilhões isolados, em que os pavilhões correntes, objecto de análise nesta comunicação, são idênticos do ponto de vista geométrico e construtivo [1-6].

Os pavilhões analisados apresentam uma área de implantação de cerca de 440 m^2 (21×21 m^2), com 1, 2 ou (raramente) 3 pisos (Fig. 1). As zonas interiores periféricas têm ocupação com salas (de aulas ou outras), enquanto no quadrado central se situam os acessos verticais (escadas de dois lanços, em betão ou metálicas), existindo corredores perimetrais interiores de acesso às salas nos pisos elevados (Fig. 1). A cobertura da zona central é, em muitos casos, sobrelevada em relação à zona perimetral, permitindo iluminação natural do exterior.

A estrutura destes corpos é em betão armado, constituída por pilares, vigas e lajes maciças ou pilares e lajes fungiformes aligeiradas (tipo Ferca) nos pisos intermédios e na cobertura. Os pilares estão colocados no perímetro do edifício (7 por face) e num quadrado definindo o vão central, dispostos de acordo com uma malha regular de 7.00×7.00 m^2.

As paredes exteriores e interiores são em alvenaria de tijolo, em geral rebocada e pintada, sendo dupla com caixa-de-ar nas paredes exteriores. Os tectos são, em geral, rebocados e pintados, havendo revestimentos de diferentes tipos nos pavimentos.

As coberturas são, em geral, em chapa ondulada de fibrocimento com ligeira inclinação, na zona perimetral, e em terraço com tela auto-protegida, na zona elevada sobre o átrio central. Em alguns casos a cobertura da zona perimetral é em terraço com telas de impermeabilização e protecção pesada.



Figura 1: Exemplos dos pavilhões analisados (escola Vergílio Ferreira) e planta tipo.

3 Metodologia de caracterização de anomalias

A recolha de informação para caracterização das anomalias foi realizada por inspecção visual de todos os espaços funcionais, tendo por base as peças desenhadas fornecidas, as visitas ao local e as informações obtidas.

A descrição das anomalias existentes foi organizada em função do conceito de Elementos Fonte de Manutenção – EFM (hierarquia de elementos proposta para edifícios [7] e aplicada a edifício escolar em estudos anteriores [8]). Estes são, na prática, os elementos da construção que, ao poderem vir a desenvolver anomalias, dão origem a determinados trabalhos de reabilitação ou manutenção. São exemplos de EFM: pilares em betão, paredes simples de tijolo furado, rebocos interiores e exteriores, chapa ondulada de fibrocimento, etc. Os EFM considerados nestas inspecções foram apenas os relativos a elementos estruturais, coberturas e os associados a problemas de humidades/infiltrações.

Cada EFM onde é detectada uma anomalia deu origem a uma ficha de inspecção, onde se apresentam as anomalias presentes (previamente tipificadas e elencadas) e as acções de reparação/manutenção (previamente tipificadas e elencadas) consideradas mais indicadas.

Nesta comunicação não é possível apresentar o elenco exaustivo de EFM, anomalias e acções de reparação/manutenção.

4 Anomalias mais frequentes

As principais anomalias identificadas têm carácter recorrente, na medida em que se repetem de pavilhão para pavilhão e de escola para escola. O estabelecimento da relação entre uma dada tipologia construtiva e o tipo de anoma-

lias que mais correntemente apresenta constitui naturalmente uma ferramenta de grande utilidade na inspecção de construções do mesmo tipo.

4.1 Anomalias em elementos estruturais

Os elementos de betão armado apresentam diversas anomalias de durabilidade, de que se destaca a corrosão das armaduras. A corrosão deve-se ao reduzido recobrimento das armaduras (sobretudo nas peças de espessura reduzida, como as platibandas), associado a uma maior exposição a agentes atmosféricos (elementos exteriores) ou a infiltrações. A corrosão é, em geral, detectada através de manchas de óxido nas zonas com infiltração ou de fissuras acompanhando as armaduras corroídas. Nos casos mais graves, a corrosão é acompanhada do descasque do betão de recobrimento (Fig. 2, à esquerda) que, ao progredir, dá origem à exposição directa dos varões, acelerando o processo.

Do ponto de vista estrutural, diversos elementos de betão armado (sobretudo lajes, vigas e platibandas) apresentam fissuras, de natureza diversa, de que se destacam as de origem termo-higrométrica (variações de temperatura e retracção do betão), com espaçamentos regulares a toda a altura das peças (Fig. 2, à direita), as devidas a pequenos assentamentos de fundação e as devidas a excesso de deformabilidade das peças e insuficiência de armaduras (e.g. algumas lajes com fissuração diagonal na face inferior – Fig. 2, ao centro).

4.2 Anomalias em elementos não estruturais

As coberturas estão na origem das principais anomalias não estruturais detectadas neste tipo de construção. O deficiente funcionamento dos revestimentos das coberturas inclinadas, em chapas de fibrocimento (cuja potencial perigosidade para a saúde humana também tem de ser considerada), e dos respectivos remates com elementos emergentes origina infiltrações que se manifestam sobretudo no tecto dos últimos pisos, provocando empolamentos e descasques dos revestimentos, para além de corrosão nas armaduras da laje de cobertura. Nas coberturas em terraço ocorrem também, em geral, infiltrações, quer através de defeitos em zona corrente (fissuras, rasgos, empolamentos, inclinações inadequadas – Fig. 3, à esquerda) quer em pontos singulares (sobreposições não aderentes, remates mal executados, sobretudo com elementos emergentes, entre outros). Outro tipo de patologia comum tem origem nos sistemas de drenagem. Estes sistemas, quase invariavelmente, não são sujeitos a manutenção periódica, dando origem a entupimento por acumulação de detritos, bolas, folhas de árvores, entre outros, o que está geralmente associado também à ausência de protecção das embocaduras dos tubos de queda com ralos de pinha, o que agrava significativamente este tipo de problema.

O deficiente funcionamento das coberturas, em particular no que se refere ao mau funcionamento das chapas de fibrocimento e das telas de impermeabi-

lização em terraços, deve-se ainda, em grande medida, ao facto de o tempo de vida útil destes elementos ter sido já ultrapassado.

As paredes de alvenaria são outro dos elementos destas construções com maior incidência de patologias. Destaca-se a fissuração, com diferentes causas, sobretudo: fissuração inclinada, devida a assentamentos de fundação (pisos térreos – Fig. 3, ao centro) e a deformabilidade dos elementos estruturais de apoio (lajes e vigas dos pisos elevados – Fig. 3, à direita); fissuração na ligação aos elementos estruturais contíguos, devido à deformabilidade da estrutura, à rigidez e à retracção dos próprios panos de alvenaria e à ausência de juntas flexíveis de ligação.

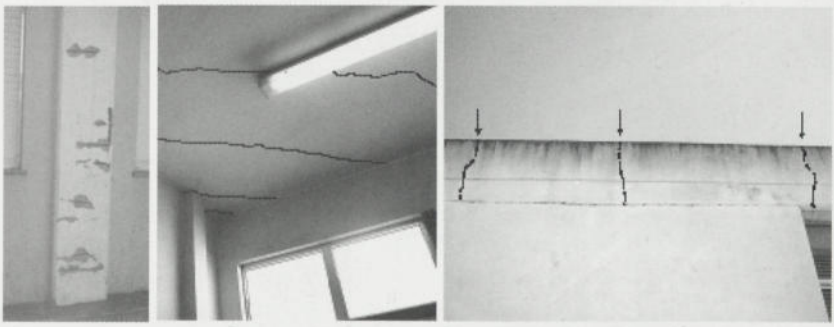


Figura 2: Anomalias estruturais: corrosão em pilares (esquerda), fissuração em laje (centro) e fissuração em platibanda.

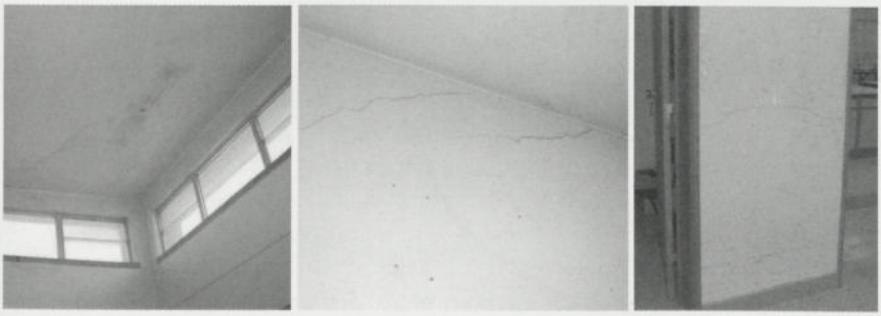


Figura 3: Infiltração em tecto (esquerda); Fissuração em paredes de alvenaria devido a assentamentos de apoio (centro) e a deformações da laje de apoio (direita).

4.3 Anomalias em termos de desempenho em serviço

As principais e mais recorrentes anomalias relacionadas com o comportamento em serviço estão relacionadas com o conforto térmico, devido essencialmente à ausência de isolamento térmico nas coberturas, ao insuficiente isolamento das paredes exteriores (apesar de serem paredes duplas com caixa-de-ar) e, sobretudo, aos vãos, que apresentam janelas com vidros simples.

5 Conclusões

O parque escolar nacional é composto por escolas que, à parte de algumas excepções, podem ser agrupadas por tipologias construtivas, correspondentes a determinadas épocas históricas. Neste artigo, foram analisadas as patologias ocorrentes numa tipologia de escolas construídas na década de 80, tendo-se verificado que as principais anomalias se repetem nas escolas inspeccionadas.

6 Agradecimentos

Os autores agradecem à Parquescolar a autorização para publicação. Agradece-se à FCT o apoio dado através do financiamento do ICIST.

7 Bibliografia

[1] Branco, F., Brito, J., Ferreira, J., Correia, J. *Peritagem às anomalias construtivas da Escola Secundária Pedro Alexandrino*, Relatório ICIST EP n.º 30/07, IST - DECivil, Lisboa, 2007.

[2] Branco, F., Brito, J., Ferreira, J., Correia, J. *Peritagem às anomalias construtivas da Escola Secundária Dr. António Carvalho de Figueiredo*, Relatório ICIST EP n.º 38/08, IST - DECivil, Lisboa, 2008.

[3] Branco, F., Brito, J., Ferreira, J., Correia, J. *Peritagem às anomalias construtivas da Escola Secundária Vergílio Ferreira*, Relatório ICIST EP n.º 41/08, IST - DECivil, Lisboa, 2008.

[4] Branco, F., Brito, J., Ferreira, J., Correia, J. *Peritagem às anomalias construtivas da Escola Secundária de Salvaterra de Magos*, Relatório ICIST EP n.º 47/08, IST - DECivil, Lisboa, 2008.

[5] Branco, F., Brito, J., Ferreira, J., Correia, J. *Peritagem às anomalias construtivas da Escola Secundária de Ponte de Sôr*, Relatório ICIST EP n.º 48/08, IST - DECivil, Lisboa, 2008.

[6] Branco, F., Brito, J., Ferreira, J., Correia, J. *Peritagem às anomalias construtivas da Escola Secundária José Saramago*, Relatório ICIST EP n.º 61/08, IST - DECivil, Lisboa, 2008.

[7] Rodrigues, R. C. *Manutenção de Edifícios: Análise e Exploração de um Banco de Dados sobre um Parque Habitacional*. Dissertação para obtenção do grau de mestre, Porto: FEUP, 1989.

[8] Flores-Colen, I. & Brito, J. de. *Plano de inspecção e manutenção de edifício escolar - caso de estudo*. QIC 2006, Encontro Nacional sobre Qualidade e Inovação na Construção. Lisboa: LNEC, Novembro 2006, pp: 569-580.

COLÉGIO DE S. SEBASTIÃO, EM PORTALEGRE
Reabilitação Estrutural

Vasco Appleton*
vasco.appleton@a2p.pt

João Appleton†
joao.appleton@a2p.pt

Resumo

A intervenção de reabilitação dos edifícios que constituem o antigo Colégio de S. Sebastião teve como linha mestra a preservação do máximo de construções do edifício original mandado edificar pela Companhia de Jesus nos séculos XVI/XVII, tendo sido feita uma reconstrução do interior do corpo do século XVIII no qual esteve instalada a Fábrica Real de Lanifícios de Portalegre, e que com a presente obra passou a albergar os serviços e gabinetes técnicos da Câmara Municipal. O corpo da igreja foi transformado num auditório com a volumetria original, sem as lajes intermédias mais recentes. A intervenção incluiu, assim, a elaboração de estruturas novas de betão armado, aço e madeira, em especial no corpo a reconstruir, e o reforço das estruturas existentes tanto no corpo do colégio como no edifício da igreja. Foi feito o reforço de paredes, arcos e abóbadas de alvenaria, bem como de pavimentos de madeira, que constituiam os materiais originais do edifício. Foram ainda elaboradas novas estruturas, nestes corpos, recorrendo-se à alvenaria, ao aço e, quando tal foi considerado adequado, também ao betão. Durante a obra foram ainda executadas estruturas provisórias de suporte de elementos estruturais que se encontravam excessivamente fracturados ou deformados, como foi o caso da fachada da igreja, que foi alvo de um atirantamento provisório. Actualmente, com a obra terminada, o conjunto edificado, que já recebeu diversos prémios de arquitectura e construção, encontra-se em pleno funcionamento.

Palavras-chave: Reabilitação, Estruturas, Alvenaria, Reforço, Portalegre.

1 Introdução – o edifício e o programa

O presente artigo refere-se a um conjunto intervencionado, que tem origem nos séculos XVI/XVII (o Colégio e a Igreja dos Jesuítas), e que foi, no século XVIII, ampliado com a execução da Fábrica Real de Lanifícios de Portalegre.

* A2P-Consult, Universidade Católica Portuguesa - Faculdade de Engenharia
† A2P-Consult, Universidade Católica Portuguesa - Faculdade de Engenharia



Figura 1: O conjunto, antes da intervenção; à esquerda, Colégio de S. Sebastião, ao centro a igreja e à direita o edifício da antiga Fábrica Real.

O edifício da Fábrica Real, situado a Sul da Igreja, tem uma planta com 50 por 18 metros, e uma cércea de cerca de 12 metros. A Igreja tem dimensões em planta de cerca de 32 por 18 metros, e atinge uma altura de cerca de 21 metros. O Colégio de S. Sebastião, a Norte, desenvolve-se em L, com o alinhamento maior orientado N-S com 10 por 45 metros e o alinhamento perpendicular com 11 por 32 metros. A estrutura dos edifícios era, antes da intervenção, constituída por paredes, colunas, arcos e abóbadas de alvenaria e cantaria, com alguns pavimentos de madeira e coberturas do mesmo material.

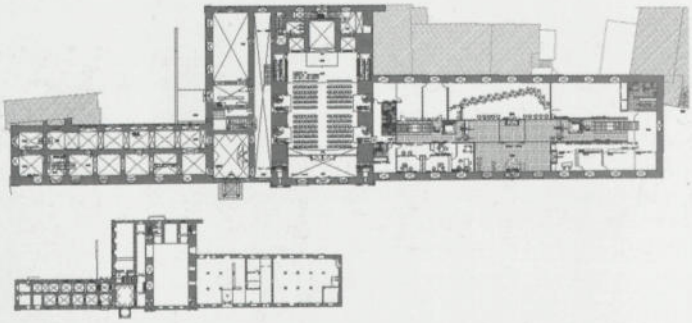


Figura 2: Planta do piso térreo – acima, a proposta arquitectónica, abaixo (em menor escala) o existente. Em planta, à esquerda o corpo do Colégio de S. Sebastião, o edifício da Igreja ao centro e à direita o corpo da Fábrica Real.

O programa do dono-de-obra – a Câmara Municipal de Portalegre – para o conjunto era muito exigente, já que se pretendia instalar no edifício todos os serviços da câmara, bem como um posto de turismo e um centro de congressos. Ora, os edifícios, com idades entre 500 a 250 anos, dificilmente se adaptariam sem alterações profundas aos usos pretendidos, especialmente com as áreas necessárias para tal. A proposta arquitectónica baseou-se, assim, no "sacrifício" da ala Sul, da Fábrica Real, o que permitiu preservar e restaurar de

forma exemplar praticamente toda a ala a Norte, do antigo Colégio de S. Sebastião, assim como o corpo central, da igreja. Deste modo, os serviços técnicos e espaços mais exigentes do ponto de vista do uso e da alteração foram aplicados na ala Sul, enquanto a ala Norte foi restaurada e aí foram instalados gabinetes da vereação e outros serviços mais compatíveis com a compartimentação existente; a igreja foi transformada num auditório. Espaços normalmente subaproveitados foram utilizados, como a zona com pé-direito mais alto do sótão do colégio, que foi convertida em arquivo. Estes diferentes paradigmas de intervenção originaram diferentes metodologias com que cada uma das zonas foi abordada. As diferenças na abordagem também podem ser justificadas pelo diferente estado de conservação dos edifícios.

2 Estado de conservação

Como trabalho preparatório para o projecto foi feita uma análise do estado de conservação do edifício, assim como um diagnóstico das anomalias que foram detectadas. Neste âmbito foram assinalados alguns assentamentos de fundações e desaprumos de paredes de alvenaria, especialmente no Colégio e na Igreja, com fracturas importantes de abóbadas e de paredes, algumas das quais não estabilizadas antes da obra; destas, provavelmente a mais notável correspondia ao desligamento do cunhal Sul-Poente da Igreja, por acção da força de desvio gerada no canto da abóbada que a cobria.

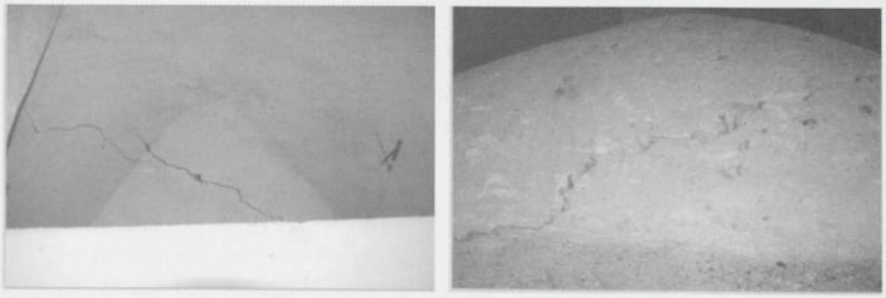


Figura 3: Fractura em abóbada de escada, no corpo do colégio, vista pelo intradorso (esq.) e extradorso (dta.)

As restantes fissuras observadas na fase anterior à obra não pareciam indiciar a existência de problemas graves, o que nalguns casos acabou por ser desmentido em obra, quando por baixo de fissuras com aberturas inferiores a 1 mm foram encontradas, após a remoção dos rebocos, fendas e fracturas com mais de 1 cm. Foi o caso, por exemplo, da fractura encontrada na escada principal do corpo do Colégio de S. Sebastião, originada por uma combinação de alterações mais ou menos recentes e insuficiências estruturais de origem, que tiveram que ser resolvidas já em obra. Tratava-se do resultado de intervenções

espúrias, como o corte de arcos e paredes de alvenaria, nos pisos mais baixos, que geraram movimentos e fracturas de paredes sobrejacentes.

Foram ainda registadas deformações excessivas de pavimentos e coberturas de madeira pré-existentes, com as infiltrações daí decorrentes a originar o apodrecimento de estruturas e revestimentos. As deformações excessivas das coberturas de madeira e as forças horizontais que decorrem do efeito de desvio, possivelmente combinadas com os efeitos de sismos que foram ocorrendo, geraram fracturas nalgumas abóbadas de arestas do edifício do colégio. A própria abóbada da igreja, como já foi referido, apresentava um funcionamento inapropriado que não só gerou a fractura da própria abóbada como da fachada em que indevidamente se apoiava.

Ainda é importante assinalar que algumas intervenções "modernas" descaracterizavam profundamente o edifício, como a abertura de vãos em condições estética e estruturalmente inaceitáveis numa perspectiva actual, pelo que se que se tornou necessário corrigi-las, revertendo-as.



Figura 4: Supressão de tramos de paredes interiores de alvenaria de pedra, à esquerda, e alargamento desproporcionado de vão de fachada, à direita

3 Projecto e intervenções estruturais

O projecto de estruturas teve como finalidade viabilizar o programa, materializado na proposta arquitectónica, conferindo em simultâneo ao edifício características estruturais compatíveis com a verificação da segurança de acordo com a regulamentação actual. Para tal foram elaborados modelos de cálculo, mais ou menos sofisticados, conforme os problemas a analisar: foram feitas análises simplificadas para o estudo de pavimentos, modelos planos e tridimensionais para o estudo de coberturas e de zonas limitadas dos edifícios, e foi elaborado um modelo tridimensional global para estudar o comportamento sísmico dos edifícios, com maior ênfase e aprofundamento no estudo do comportamento do corpo Norte, da Fábrica Real, que era o que iria ser mais profundamente alterado.

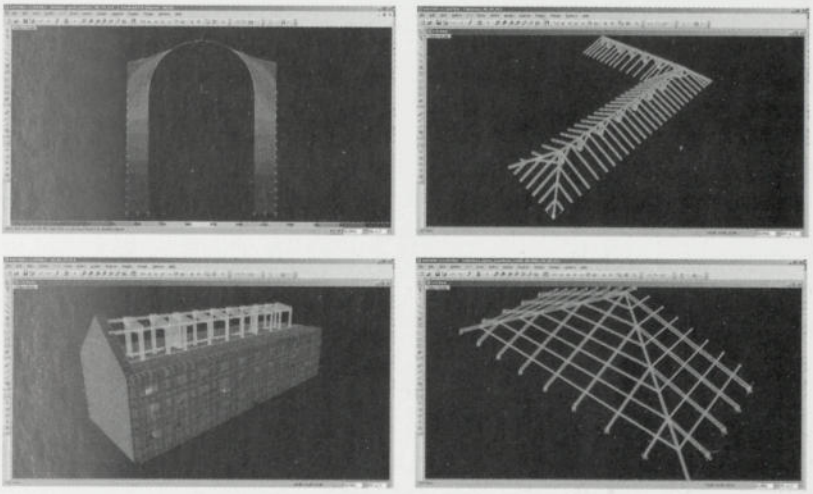


Figura 5: Alguns modelos: Corpo da igreja (topo, esq.), Fábrica Real (base, esq.); coberturas do colégio (topo, dta.) e da cabeceira (base, dta.).



Figura 6: Obra de reconstrução da Fábrica Real, projecção de betão

As intervenções realizadas na Fábrica Real, as mais intrusivas – não por razões de ordem técnica mas sim por real incompatibilidade entre programa (dono-de-obra) e o conjunto de edifícios – podem ser sinteticamente descritas como a demolição inicial do interior do edifício, seguida da consolidação das paredes periféricas com lâminas de betão armado projectado pregadas com chumbadouros, a que sucedeu a execução de estruturas de piso e acessos em betão armado e aço, e a cobertura com estrutura de madeira lamelada-colada

No caso da Igreja de S. Sebastião, foi feita a demolição dos diversos pisos intermédios, que teve que ser acompanhada de uma contenção provisória da fachada principal por atirantamento desta às paredes perpendiculares, a que se seguiu uma estrutura de contenção definitiva por aplicação localizada de uma lâmina de betão armado projectado, pregada à parede, e através de pregagens nos cunhais. Foi ainda executada a consolidação das abóbadas de cobertura por remoção dos carregos soltos, execução de reforço com lâmina fina de betão

armado pregada à mesma e aplicação de carregos de betão leve. Na igreja houve ainda a construção dos coros com estruturas metálicas, mistas e de madeira, o restauro dos pavimentos abobadados e, finalmente, a construção de acessos de madeira, de betão e ainda metálicos.

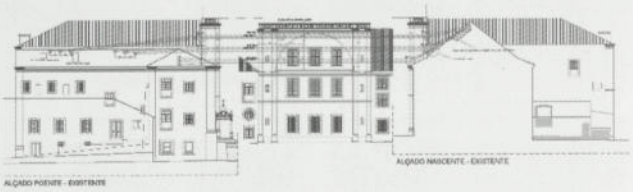


Figura 7: Desenho de projecto de contenção da fachada da igreja.

Quanto ao Colégio de S. Sebastião, a obra, como já foi referido, foi mais de reparação, reforço, restauro: reconstrução de paredes e arcos indevidamente removidos; construção de novos arcos, de betão armado, para evitar a descarga de paredes de alvenaria existentes sobre os fechos da abóbada da entrada; injecção de fendas e reforço de abóbadas com lâminas finas de betão armado; atirantamento da parede da fachada Norte à parede Sul da igreja com elementos metálicos, de madeira e de betão, que em simultâneo funcionam como novos pavimentos; execução de cobertura de madeira lamelada-colada.





Figura 8: Após a obra: fachada principal (esq.), interior da igreja (dta.).

Conclusão das obras: *2006*
Dono-de-obra: *Câmara Municipal de Portalegre*
Projecto de Arquitectura: *Arquiespaço*-Fernando Sequeira Mendes, arquitecto
Projecto de Estruturas: *A2P*-João Appleton, Vasco Appleton, engenheiros civis
Empreiteiro: *Teixeira Duarte*-Nuno Martins, director de obra, engenheiro civil



SESSÃO XXVIII

SOLUÇÕES DE REABILITAÇÃO

METODOLOGIA DE SIMULAÇÃO COM VISTA À REABILITAÇÃO ENERGETICAMENTE EFICIENTE

Pedro Silva[*]
psilva@civil.uminho.pt

Manuela Almeida[†]
malmeida@civil.uminho.pt

Luís Bragança[‡]
braganca@civil.uminho.pt

Vasco Mesquita[§]
vasco.mesquita@dstsgps.com

Resumo

O parque habitacional é um dos sectores de intervenção prioritária, tendo em conta que estes representam 40% do consumo de energia final na Europa. Com a entrada em vigor da Directiva Europeia da Performance Energética de Edifícios (EPBD), foi dado o primeiro passo neste sentido, introduzindo-se diversas medidas que limitam o consumo de energia primária nos edifícios.

Com a aplicação desta Directiva, a discrepância, em termos de performance, entre as habitações novas e as existentes, tem vindo a tornar-se cada vez maior, dado que a reabilitação tem muitas vezes vindo a ser apontada como demasiado dispendiosa ou ineficiente. Assim, o uso e a integração das mais recentes ferramentas de simulação com ferramentas "Web-Based" podem ser uma ajuda preciosa para a avaliação da eficácia das estratégias de reabilitação propostas aos edifícios existentes.

Este estudo apresenta o desenvolvimento de uma metodologia de reabilitação integrada, desde a fase de projecto até à fase de execução da reabilitação, baseada na integração de diversas ferramentas, permitindo a avaliação do desempenho energético do edifício e a avaliação da viabilidade económica de cada intervenção proposta. Esta metodologia é composta por três passos: 1º - Modelo robusto do edifício – utilização do Google Earth® para obtenção da topografia e implementação desta no Google SketchUp®, podendo ser utilizadas fotografias do edifício para a criação do modelo; 2º - Performance Energética – utilização do "add-on" do EnergyPlus no Google SketchUp® ou exportação do modelo CAD e utilização de outra ferramenta de simulação dinâmica; 3º - Viabilidade Económica – aplicação da ferramenta "Retrofit Advisor" para verificação da viabilidade das possíveis opções de reabilitação.

A solução de reabilitação estudada e aqui apresentada – sistema tipo fachada ventilada - resultou num elevado aumento da eficiência energética da habitação em análise e, comparando as opções de reparar ou reconstruir, a opção reabilitar com o sistema apresentado mostrou-se a mais vantajosa.

Palavras-chave: Simulação de Edifícios, Performance Energética, Reabilitação.

---

[*] Bolseiro de Doutoramento. Universidade do Minho / DST, S.A.

[†] Professora Associada. Universidade do Minho

[‡] Professor Associado, Universidade do Minho. Director do Laboratório de Física e Tecnologia das Construções.

[§] Engenheiro. DST, S.A.

1 Introdução

O parque habitacional europeu apresenta, actualmente, uma baixa eficiência energética, sendo responsável por 40% do consumo energético total e por 1/3 das emissões de gases de efeito de estufa para a atmosfera. Como tal, e seguindo a estratégia da EU, este facto terá de ser revertido, sendo necessário desenvolver soluções que permitam uma evolução dos consumos energéticos do parque habitacional Europeu como a apresentada na Figura 1.

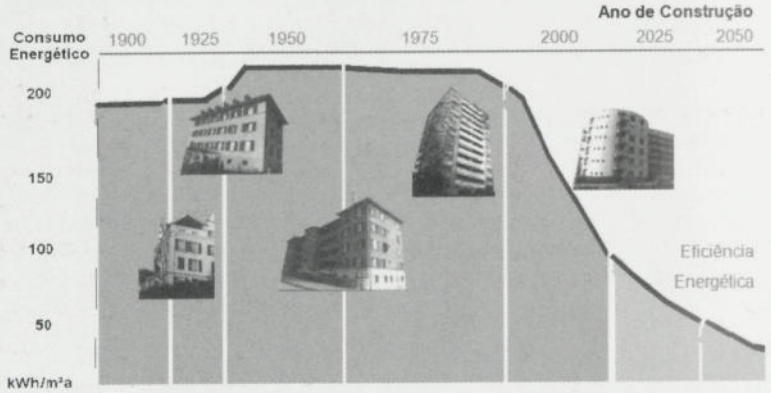


Figura 1: Evolução do consumo de energia no Parque Habitacional Europeu [1]

Em Portugal, a situação é ainda mais gravosa dado que 81% do parque habitacional edificado foi construído antes de 1990 [2], ou seja, antes da publicação do 1º Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios. Como tal, a grande maioria dos edifícios apresenta elevados consumos energéticos e baixos níveis de conforto. Mesmo tendo em consideração o cenário apresentado, e apesar de um elevado número de edifícios Portugueses necessitarem de obras de reabilitação (34%) [2], o investimento no sector da Reabilitação de Edifícios em Portugal, ao contrário do resto da Europa, é ainda bastante incipiente. Em Portugal estão já em vigor os novos Decretos-Lei que regulamentam o comportamento térmico de edifícios residenciais e de serviços bem como o Decreto-Lei que regulamenta a Certificação Energética. Como tal, todos os edifícios vão ter limitações em termos de consumos de energia, estando muitos deles obrigados à execução compulsiva de obras de reabilitação, principalmente a nível de edifícios de serviços. No sector residencial, as intervenções de reabilitação com carácter exclusivamente energético têm ainda um carácter voluntário. No entanto, as obras de reabilitação geral com alguma dimensão terão obrigatoriamente que contemplar a vertente energética. Prevê-se, por isso, que o sector da Reabilitação Energética dos Edifícios em Portugal sofra um impulso relevante a curto prazo.

Neste contexto, as ferramentas de simulação são essenciais, de forma a maximizar o potencial de reabilitação de edifícios, ou seja, permitir testar diferentes soluções existentes no mercado, assim como outras soluções inovadoras, de forma a obter uma solução final optimizada, quer em termos de eficiência energética, quer em termos de viabilidade económica.

2 Simulação de Edifícios

A Simulação de Edifícios pode ser definida como a introdução das características de um edifício num modelo, com um certo nível de abstracção. Tendo em conta que um edifício é composto por milhares de variáveis, é necessário apenas implementar aquelas que são de maior representatividade para o comportamento do edifício [3].

As ferramentas de simulação são, actualmente, utilizadas de uma forma generalizada no sector dos edifícios. Em termos de simulação energética, foi a partir dos anos 70 que as primeiras ferramentas começaram a ser introduzidas no mercado, tendo já um grande potencial mas sendo de utilização muito complexa dado os meios informáticos existentes na altura. No entanto, com o actual avanço na capacidade de processamento dos computadores e a implementação de interfaces gráficas muito detalhadas, as ferramentas de simulação energética estão, cada vez mais, com maior número de utilizadores e com maior potencial [4]. Por outro lado, nos últimos anos, devido à exponencial evolução do mundo "WWW" (World-Wide-Web) começaram a aparecer novas oportunidades, como a ligação das ferramentas de simulação a dados em tempo real (online), assim como a aplicação de ferramentas Web-based.

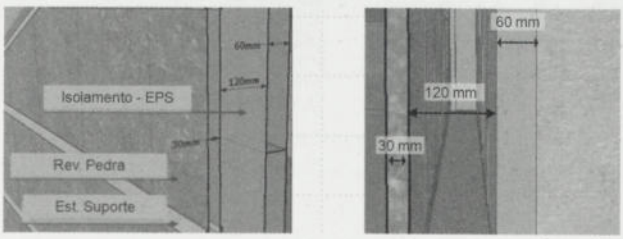


Figura 2: Sistema de Reabilitação tipo Fachada Ventilada – SFV.

Assim, a metodologia apresentada seguidamente tem em conta a interligação de todos os passos necessários para a simulação através de ferramentas Web-based - criação do modelo, simulação e análise de resultados. O elemento de interligação é a execução do modelo robusto, o qual será utilizado tanto para a simulação energética, como para a ferramenta de análise económica.

O edifício onde foi aplicada esta metodologia é uma habitação unifamiliar, térrea, com pilares de betão armado, paredes exteriores de alvenaria de blocos

de betão, rebocadas em ambos os lados, envidraçados simples e cobertura inclinada. Como sistema de reabilitação, foi aplicado um sistema tipo "fachada ventilada" (SFV), com isolamento de 6cm em Poliestireno Expandido Moldado, com sistema de suporte metálico e revestimento em placas de pedra, como se pode ver na Figura 2.

3 Geração do Modelo

O passo inicial desta metodologia, sendo um dos passos fundamentais das ferramentas de simulação, é a criação de um modelo robusto, a partir de ferramentas "Web-based" – o Google Earth e SketchUp®. Assim, com o Google Earth® é obtida a tipologia do terreno e exportada para o Google SketchUp. Seguidamente, são fotografadas todas as fachadas da habitação em estudo e exportadas para o Google SketchUp, onde é possível unir as fotografias e aplicar as ferramentas de modelação do SketchUp® de forma a criar um modelo 3D do edifício. Por outro lado, depois de definidas as opções de reabilitação, também devem ser modeladas as soluções de reabilitação. Na Figura 3 é possível observar os passos referidos para a criação do modelo.

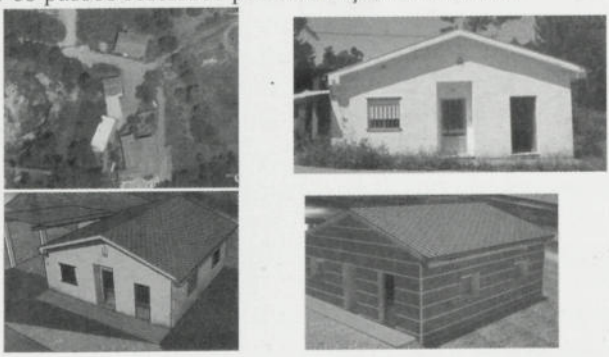


Figura 3: Criação do Modelo – 1ª Topografia importada do Google Earth®; 2ª Fotografia da Habitação; 3º - Modelo Original; 4º - Modelo Reabilitado.

4 Simulação Energética

De forma a avaliar o comportamento térmico da habitação original e da habitação com a aplicação do sistema de reabilitação, foi utilizada a ferramenta eQuest [5]. Para tal, foi exportado o modelo criado no Google SketchUp® para formato CAD e seguidamente importado pelo eQuest (Figura 4). Com o modelo definido no eQuest foram definidos as características da envolvente, os equipamentos, a ocupação e a iluminação, para a habitação original e para a habitação com aplicação do sistema de reabilitação escolhido, sendo então

simuladas as duas situações. Os resultados obtidos com a simulação mostram uma redução significativa das necessidades energéticas da solução reabilitada, como mostra a Tabela 1, principalmente a nível de necessidades de aquecimento, embora com um ligeiro incremento das necessidades de arrefecimento, pois com o aumento do isolamento da envolvente, nas semanas de maior calor, a habitação necessita mais tempo para arrefecer. No entanto, as necessidades de arrefecimento não são significativas relativamente às necessidades totais.

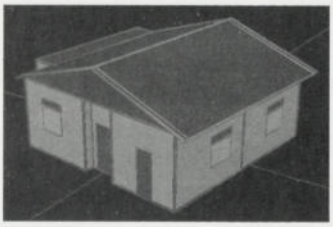


Figura 4: Modelo exportado para a ferramenta eQuest.

Tabela 1: Resultados obtidos com a simulação no eQuest.

kWh/m2.ano	**Necessidades de Arrefecimento ()**	**Necessidades de Aquecimento**	**Necessidades totais**
Original	1.2	316.9	318.1
SFV	10.5	108.2	118.7

5 Análise Económica

A análise da viabilidade económica da solução proposta foi executada com a ferramenta "Retrofit Advisor", a qual se encontra neste momento em fase de desenvolvimento, assim como de adaptação ao mercado Português, tendo este estudo ainda sido efectuado com a ferramenta original, ou seja, baseada no mercado Suíço. Para esta ferramenta foram utilizadas as medições de áreas do modelo apresentado e os resultados energéticos obtidos com a ferramenta de simulação eQuest. O "Retrofit Advisor" faz uma análise simplificada, tendo em conta os dados geométricos, o sistema de climatização, os dados financeiros (rendas, valor do terreno, etc.), as medidas de reabilitação e aspectos sociais. Depois da introdução dos dados de entrada referidos, é feita uma análise económica das várias opções (manter o original, reparar, reabilitar ou reconstruir) para um ciclo de vida de 50 anos. A Figura 5 apresenta os resultados do estudo económico (em Franco Suíços => 1 CHF = 0.667 €) obtidos com a aplicação desta ferramenta. Devido ao estado inicial do "Retrofit Advisor"

ainda não existe bibliografia, no entanto para mais informações o primeiro autor está disponível para qualquer esclarecimento.

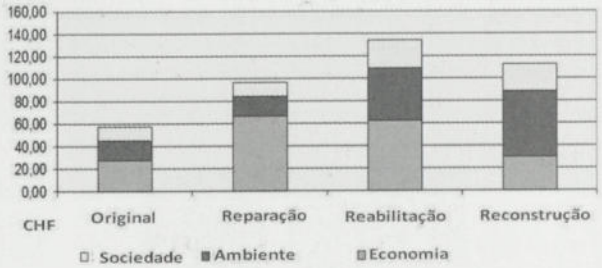


Figura 5: Cotação da habitação através da ferramenta "Retrofit Advisor".

6 Conclusões

A partir da metodologia apresentada, foi possível elaborar um estudo das várias hipóteses de reabilitação de um edifício unifamiliar, onde foram interligados todos os passos utilizados no estudo, tendo como ponto comum o modelo inicial criado a partir do Google SketchUp. No final, a solução escolhida de reabilitação levou a uma redução das necessidades energéticas de 63%, sendo globalmente a melhor opção, quando comparada com as outras possibilidades: reparação ou reconstrução.

7 Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer à FCT pela bolsa concedida ao primeiro autor e à DST, S.A. pelo apoio prestado.

8 Bibliografia

[1] Zimmermann, M. *IEA ECBCS Annex 50 - Prefabricated Renewal of Buildings - Status Report 1.* ECBCS ExCo meeting, Oslo, Norway, Junho 2006.

[2] INE – Instituto Nacional de Estatística. *Census 2001.* INE, 2001

[3] Adelard, L.; Boyer, H.; Garde, F.; Gatina, J.C. *A detailed weather data generator for building simulations.* Energy and Buildings 31: pag. 75-88, 2000.

[4] Silva, P. *Análise do Comportamento Térmico de Construções não Convencionais através de Simulação em VisualDOE.* Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, 2006.

[5] Hirsch, J. *eQuest v3.40 – Tutorial.* James J. Hirsch, 2003.

REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS EXISTENTES
Avaliação Exigencial da Qualidade Térmica

Susana de Jesus Santos*
susanajsantos@hotmail.com

João Carlos Gonçalves Lanzinha†
João.lanzinha@ubi.pt

Resumo

A energia assume actualmente um papel preponderante no bem-estar económico e social, em especial no aquecimento e arrefecimento dos edifícios, mas a debilidade do abastecimento e o seu custo obrigam a que se tomem medidas tendentes à sua utilização mais eficiente.

A utilização adequada de equipamentos e de soluções construtivas mais eficientes na reabilitação dos edifícios existentes constituem uma forma de alcançar significativas poupanças de energia, manter o conforto e aumentar a produtividade das actividades dependentes de energia.

Para avaliar a qualidade térmica dos elementos construtivos tem sido proposta por alguns especialistas a atribuição de níveis de qualidade, com especial incidência nos elementos da envolvente do edifício, uma vez que são estes que em termos construtivos condicionam a eficiência energética do edifício.

Como forma de apoiar a reabilitação dos edifícios existentes, propõe-se neste artigo uma nova grelha de avaliação exigencial que permite, de forma expedita, diagnosticar a qualidade térmica dos seus elementos construtivos e avaliar os diferentes níveis de qualidade das soluções de reabilitação a propor.

Palavras-chave: Qualidade, Reabilitação, Envolvente, Térmica.

1 Enquadramento

Tendo em conta as tendências actuais, o aumento de consumo de energia e a dependência da União Europeia face às importações de petróleo e gás, tornou-se necessário implementar limites ao consumo, por forma a garantir a segurança do abastecimento e limitar a dependência de energia relativamente a países terceiros.

* Licenciada em Engenharia Civil, Universidade da Beira Interior, Covilhã.
† Professor Auxiliar do Dep. Eng. Civil e Arquitectura, Universidade da Beira Interior, Covilhã.

Por outro lado e de forma a cumprir o Protocolo de Quioto, a U.E., estudou as medidas mais eficazes para diminuir os gases emitidos e a sua dependência dos combustíveis fósseis e estabeleceu a Directiva Europeia 2002/91/CE que tem como objectivo principal promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios, tendo em conta as condições climáticas externas e as condições locais, bem como as exigências em matéria de clima interior e a rentabilidade económica.

2 Conceito de avaliação exigencial

Regra geral, procura-se no edifício um local de abrigo ou de refúgio da agressividade do ambiente exterior circundante, competindo aos elementos da envolvente garantir a privacidade e permitir as condições de conforto interior. O elemento de separação dos ambientes exterior e interior designa-se por envolvente dos edifícios. E sendo a envolvente exterior do edifício a zona mais exposta do edifício, o que estimula uma degradação da qualidade das construções, deverá ser objecto de atenção especial, de forma a cumprir de forma adequada a sua função.

Para avaliar a qualidade dos elementos construtivos pertencentes à envolvente foi definido pelo Prof. Dr. João C. G. Lanzinha um novo conceito de avaliação exigencial [1]. Pretende-se com esta avaliação exigencial, para além da análise comparativa do estado de conservação habitualmente realizado nas inspecções de edifícios, efectuar uma avaliação fundamentada do desempenho dos diversos elementos construtivos que constituem a envolvente. Esta avaliação é baseada nas exigências técnicas de funcionamento estabelecidas em documentos regulamentares ou exigenciais, realizando sempre que possível análises técnicas, cálculos, medições e eventualmente ensaios "in situ". Para o efeito o autor define um conjunto de 21 exigências, descreve no seu trabalho cada uma delas e refere o modo de expressão, os aspectos complementares a verificar, o modo de avaliação e quantificação das exigências, com atribuição de níveis de qualidade e ainda alguns elementos complementares, nomeadamente bibliografia de suporte

No trabalho de avaliação é determinado o desempenho dos elementos construtivos para diferentes situações, comparando-o com as exigências já referidas, obtendo-se como resultado final da manipulação dos dados, o perfil do edifício estudado, relativamente ao grau de satisfação do conjunto das exigências previamente definidas.

3 Atribuição de Níveis de Qualidade aos Elementos Construtivos

A definição de níveis de qualidade térmica e atribuição de uma escala qualitativa com a finalidade de caracterizar a eficiência dos elementos construti-

vos da envolvente tem vindo a ser proposta por alguns autores [2, 3, 4]. Esta qualificação permite avaliar os elementos do edifício e identificar aqueles que menos contribuem para eficiência térmica do mesmo, possibilitando actuar a nível mais específico numa possível reabilitação.

No documento "Reabilitação de Edifícios – Metodologia de Diagnóstico e Intervenção" [5] o autor propôs níveis de qualidade para as várias exigências de forma a satisfazer o conceito de avaliação exigencial dos elementos que constituem a envolvente exterior. Esta proposta baseava-se numa apreciação dos elementos construtivos que tem como base o cumprimento dos valores de referência dos valores regulamentares, excluindo à partida a possível classificação dos elementos construtivos de edifícios construídos anteriormente e que podem não cumprir os requisitos regulamentares de referência, que têm vindo a ser actualizados periódicamente. Por esta razão entendeu-se como necessário estabelecer uma proposta de avaliação exigencial da qualidade térmica que permita classificar também os edifícios "não cumpridores".

4 Proposta de avaliação exigencial da qualidade térmica

A proposta agora apresentada (Tabela 1) refere-se apenas às exigências de isolamento térmico dos elementos da envolvente, sendo necessário analisar pormenorizadamente cada elemento e atribuir-lhe uma classificação de acordo com os valores característicos propostos no RCCTE [6], nomeadamente o Coeficiente de Transmissão Térmica de Referência (U_{ref} - W/m^2.ºC) e o Coeficiente de Transmissão Térmica Superficial Máximo Admissível ($U_{máx}$ - W/m^2.ºC).

Os níveis de qualidade foram definidos de maneira a que os edifícios obtivessem uma classificação coerente com a sua época de construção. Para tal partiu-se do coeficiente de transmissão térmica superficial máximo admissível ($U_{máx}$ - W/m^2.ºC) para cada zona climática de Inverno, proposto pelo RCCTE de 2006. Esta qualificação é menos exigente que as apresentadas anteriormente [7], que tinham como base o valor de U_{ref}.

No caso dos envidraçados, os valores do U_{ref} adoptados referem-se ao RCCTE de 2006, enquanto que os valores de $U_{máx}$ tiveram como base os valores de referência definidos no RCCTE de 1990, uma vez que o regulamento actual não prevê valores de $U_{máx}$ para elementos envidraçados.

Nos elementos da envolvente opaca, o valor limite do intervalo de valores correspondente ao nível $\mathbf{N_0}$ (nível considerado como minimamente aceitável) foi obtido a partir da média de valores de $U_{máx}$ e U_{ref}. Por exemplo, para a zona climática I1, a classificação $\mathbf{N_0}$ para uma parede exterior em zona corrente é obtida no intervalo de valores entre 1,25 e 1,80 W/m^2.ºC. Para o nível $\mathbf{N_1}$ os limites do intervalo variam entre 0,70 e 1,25 W/m^2.ºC, respectivamente U_{ref} e valor médio U_{ref} -U_{max}.

Tabela 1: Níveis de Qualidade Térmica para cada elemento da envolvente.

	ELEMENTOS EXTERIORES EM ZONA CORRENTE						ELEMENTOS INTERIORES EM ZONA CORRENTE						ENVIDRAÇADOS		
	Paredes			Zona Opaca Horizontal			Paredes			Zona Opaca Horizontal					
	I 1	I 2	I 3	I 1	I 2	I 3	I 1	I 2	I 3	I 1	I 2	I 3	I 1	I 2	I 3
N 5															
	0,35	0,30	0,25	0,25	0,23	0,20	0,70	0,60	0,50	0,50	0,45	0,40	3,01	2,31	3,31
N 4	0,35	0,30	0,25	0,25	0,23	0,20	0,70	0,60	0,50	0,50	0,45	0,40	3,01	2,31	3,31
	0,49	0,42	0,35	0,35	0,32	0,28	0,98	0,84	0,7	0,7	0,63	0,56	3,66	2,81	2,81
N 3	0,49	0,42	0,35	0,35	0,32	0,28	0,98	0,84	0,7	0,7	0,63	0,56	3,66	2,81	2,81
	0,63	0,54	0,45	0,45	0,41	0,36	1,26	1,08	0,9	0,9	0,81	0,72	4,09	3,14	3,14
N 2	0,63	0,54	0,45	0,45	0,41	0,36	1,26	1,08	0,9	0,9	0,81	0,72	4,09	3,14	3,14
	0,70	0,60	0,50	0,50	0,45	0,40	1,40	1,20	1,00	1,00	0,90	0,80	4,30	3,30	3,30
N 1	0,70	0,60	0,50	0,50	0,45	0,40	1,40	1,20	1,00	1,00	0,90	0,80	4,30	3,30	3,30
	1,25	1,10	0,98	0,88	0,73	0,65	1,70	1,60	1,45	1,33	1,10	1,00	4,25	3,75	3,75
N 0	1,25	1,10	0,98	0,88	0,73	0,65	1,70	1,60	1,45	1,33	1,10	1,00	4,25	3,75	3,75
	1,80	1,60	1,45	1,25	1,00	0,90	2,00	2,00	1,90	1,65	1,30	1,10	4,20	4,20	4,20
N -1	1,80	1,60	1,45	1,25	1,00	0,90	2,00	2,00	1,90	1,65	1,30	1,10	4,20	4,20	4,20
	1,98	1,76	1,60	1,38	1,10	0,99	2,20	2,20	2,09	1,82	1,43	1,32	4,41	4,41	4,41
N -2	1,98	1,76	1,60	1,38	1,10	0,99	2,20	2,20	2,09	1,82	1,43	1,32	4,41	4,41	4,41
	2,16	1,92	1,74	1,50	1,20	1,08	2,40	2,40	2,28	1,98	1,56	1,44	4,83	5,46	5,46
N -3	2,16	1,92	1,74	1,50	1,20	1,08	2,40	2,40	2,28	1,98	1,56	1,44	4,83	5,46	5,46
	2,34	2,08	1,89	1,63	1,30	1,17	2,60	2,60	2,47	2,15	1,69	1,56	4,83	5,46	5,46
N -4	2,34	2,08	1,89	1,63	1,30	1,17	2,60	2,60	2,47	2,15	1,69	1,56	4,83	5,46	5,46
	2,52	2,24	2,03	1,75	1,40	1,26	2,80	2,80	2,66	2,31	1,82	1,68	5,04	5,04	5,04
N -5	2,52	2,24	2,03	1,75	1,40	1,26	2,80	2,80	2,66	2,31	1,82	1,68	5,04	5,04	5,04

A escala positiva (N_1 até N_5) nos elementos opacos é definida por intervalos de valores obtidos por decréscimos sucessivos do U_{ref} em escalões de 10%. No caso dos envidraçados estes decréscimos são efectuados por escalões de 5% pois a resistência térmica dos elementos que constituem os envidraçados varia de uma forma mais significativa quando comparadas com as dos elementos opacos.

Através destes coeficientes define-se igualmente uma escala "negativa" (N_{-1} até N_{-5}) que é obtida pelo acréscimo do valor de $U_{máx}$ por escalões de 10% no caso dos elementos opacos e de 5% no caso dos envidraçados. Esta escala negativa destina-se, como já foi referido, a contemplar os edifícios que não cumprem os valores mínimos recomendados e que necessitam de ser reabilitados ou adaptados à realidade actual.

Esta proposta de avaliação exigencial da qualidade térmica irá ser complementada com a avaliação de elementos construtivos pertencentes a pontes térmicas planas, permitindo igualmente a avaliação da sua qualidade térmica.

5 Estudo de Conjunto de Edifícios

Para confirmar a adequação dos valores escolhidos para os diferentes níveis de qualidade, procedeu-se ao estudo de um conjunto de edifícios, localizados a altitude significativa, em área de montanha, e cujas características principais são definidas na Tabela 2.

Em função da análise do projecto consultado e da confirmação efectuada no local e atendendo à classificação proposta para os níveis de qualidade térmica, atribuiu-se para cada elemento da envolvente um nível correspondente ao coeficiente de transmissão térmica obtido em função da sua composição.

Tabela 2: Descrição dos edifícios seleccionados.

Edifício	Localização	Altitude	Descrição
Edifício A	Penhas da Saúde	1450 m	Construção em madeira e com isolamento térmico na cobertura e paredes exteriores. Área de implantação: 75,12m^2.
Edifício B	Penhas da Saúde	1473 m	Construção em alvenaria de granito no R/C e blocos de cimento no 1º andar. Área de implantação: 118,98m^2.
EdifícioC	Penhas Douradas	1526 m	Construção em alvenaria de granito. Área de implantação: 187,86m^2.
EdifícioD	Torre	1946 m	Construção em alvenaria de granito no R/C e alvenaria de tijolo nos restantes pisos. Área de implantação: 303m^2.
Edifício E	Torre	1990 m	Construção em alvenaria de granito. Área de implantação: 193,6m^2.

O conhecimento desta classificação permite-nos avaliar de um modo prático quais os elementos mais críticos da envolvente, que mais contribuem para a ineficiência energética e que necessitam ser reabilitados. No entanto, para as envolventes que possuem mais do que um elemento construtivo distinto considerou-se a classificação mais desfavorável. A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos.

Tabela 3: Níveis de Qualidade dos elementos da envolvente dos edifícios estudados.

	Edifício A	Edifício B	Edifício C	Edifício D	Edifício E
Paredes Exteriores	1	- 5	- 5	- 5	- 5
Pavimento em contacto com espaços não úteis	- 5	---	---	---	---
Cobertura	- 2	- 5	0	- 5	- 5
Envidraçados	4	0	5	0	4
Classe energética	B	G	D	D	D

Na sequência dos resultados obtidos na classificação dos níveis de qualidade e do cálculo da classe energética com aplicação do RCCTE, fica demonstrada a necessidade de efectuar uma reabilitação energética a nível geral em todos os edifícios. Torna-se então necessário efectuar uma intervenção nos elementos de modo a obter um nível de qualidade no mínimo superior a $\mathbf{N_1}$.

Foram sugeridas algumas medidas de correcção para melhorar a qualidade térmica dos edifícios estudados. A tabela 4 apresenta as classificações obtidas e a respectiva classe energética depois de contempladas as intervenções propostas nos diferentes edifícios.

Tabela 4: Níveis de Qualidade após a reabilitação.

	Edifício A	Edifício B	Edifício C	Edifício D	Edifício E
Parede Exterior	1	1	3	3	1
Pavimento em contacto com espaços não úteis	1	---	---	---	---
Cobertura	3	3	2	1	1
Envidraçados	4	5	5	4	4
Classe energética	A	B	B	C	C

6 Conclusões

A proposta efectuada tem interesse, em especial, para classificar a situação actual dos edifícios existentes no que respeita à avaliação da qualidade térmica dos elementos da envolvente e que permite estudar os melhores cenários para a reabilitação térmica dos referidos edifícios, uma vez que facilita a identificação dos pontos críticos e realizar intervenções mais eficientes do ponto de vista dos custos.

A aplicação efectuada permite comprovar que a escala proposta é adequada tendo em conta diferentes tipologias construtivas e as diferentes épocas de construção. No futuro pretende-se aplicar esta proposta de classificação em edifícios localizados noutras zonas climáticas do país e difundir a sua utilização pelos profissionais do sector, por se tratar de um instrumento de fácil utilização.

7 Bibliografia

[1] Lanzinha J.C.G. *Reabilitação de Edifícios – Metodologia de Diagnóstico e Intervenção*. tese de Doutoramento com orientação do Prof. Vasco Freitas (F.E.U.P.) e co-orientação de J.P. Castro Gomes (U.B.I.), Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal, Nov. 2006

[2] Abrantes V. *Apreciação da Qualidade Térmica de Projectos de Habitação*. Comunicação ao Congresso 77 da Ordem dos Engenheiros, Boletim Nº7, Novembro de 77.

[3] Abrantes V.; Freitas V.P. O *Isolamento Térmico da Envolvente dos Edifícios Face ao Novo Regulamento*. DOW.

[4] Freitas V.P.; Pinto M. *Metodologia para a Definição Exigencial de Isolantes Térmicos*. Novembro de 1997.

[5] Lanzinha J.C. ; Freitas V.P.; Castro Gomes J.P. *Metodologias de diagnóstico e intervenção na reabilitação de edifícios*. Congresso Construção 2001, IST, Lisboa, Portugal, Dezembro de 2001.

[6] R.C.C.T.E. *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios*. D.L. 80 /2006 de 4 de Abril.

[7] Freitas, Vasco Peixoto e outros. *Medidas de melhoria – edifícios residenciais existentes*. FEUP / ADENE – Agência para a Energia, 2008.

INTERVENÇÃO EM AZULEJOS DE EXTERIOR
Possibilidades Técnicas e Critérios

Luís Mariz Ferreira[*]
lmariz@tele2.pt

João Coroado[†]
jcoroado@ipt.pt

Vasco Peixoto de Freitas[‡]
vpfreita@fe.up.pt

Itxaso Maguregui[§]
itxaso.maguregui@ehu.es

Resumo

Nos centros históricos portugueses há uma abundância relativa de revestimentos em azulejo nos edifícios civis de construção antiga (anterior a 1920). As intervenções de que são alvo, reparações pontuais, substituições integrais e eliminações (alteração do tipo de revestimento), são desadequadas e interferem não só no edifício como também na imagem urbana, nomeadamente ao nível do quarteirão. A perda ou a substituição de um revestimento deste género, por vezes sem valor pertinente por si só, tem consequências no desenvolvimento rítmico e cromático do espaço urbano, alterando valores técnico-artísticos, sociais e históricos importantes.

É premente a definição de critérios, metodologias e objectivos de intervenção a fim de preservar a autenticidade da envolvente urbana e assegurar a manutenção de um dos elementos mais característicos da arquitectura portuguesa do século XIX.

Palavras-chave: Azulejo, Métodos de intervenção, Critérios.

1 Introdução

Nas cidades portuguesas há um conjunto significativo de edifícios civis construídos até ao início do século XX que receberam azulejo como acabamento das áreas opacas. A época áurea do uso de azulejo de exterior está balizada entre 1850 e 1920, constituindo as fábricas localizadas na foz do Douro um dos centros produtores mais importantes da época [1].

No contexto urbano da cidade do Porto são perceptíveis deficiências nas intervenções dos revestimentos com azulejo das fachadas dos edifícios não classificados e mesmo em alguns classificados, sobretudo quando os promoto-

[*] Investigador, Universidad del País Vasco.
[†] Prof. Coordenador, Dep. Arte, Conservação e Restauro do Instituto Politécnico de Tomar.
[‡] Prof. Catedrático da FEUP. Director do Laboratório de Física das Construções.
[§] Prof. Titular, Universidad del País Vasco.

res são entidades particulares e não há a passagem do projecto pelo crivo de entidades com responsabilidades supra municipais no património edificado.

2 Tipologias de intervenção em azulejo

2.1 Tipologias tradicionais e correntes

Durante a fase de uso, quando da constatação de disfunções, em especial associadas à queda de azulejos, os panos azulejares foram intervencionados recorrentemente. No estudo efectuado a 24 edifícios da cidade do Porto, com conhecimento das datas de aplicação ou de reparação dos panos e estimando-se a quantidade de intervenções que sofreram, chegou-se a um intervalo de quase 35 anos entre intervenções, com valores extremos de 12 e 87 anos. Da análise a este conjunto de edifícios e a outros, foram identificadas as seguintes tipologias de intervenção ou sua omissão: ausência de manutenção (abandono); remoção parcial do pano com objectivo de preencher outras áreas com falta de azulejos; preenchimento de lacunas de azulejos com argamassas (com ou sem pintura); fixação de azulejos fracturados com argamassas; adições de azulejos de padrão diferente (padrões incoerentes ou aproximados) e pintura sobre azulejo (Figura 1).



Figura 1: Modelos de intervenção "tradicional": eliminação do revestimento da fachada lateral para revestir a principal; preenchimento de lacuna com argamassa; reintegração cromática por pintura sobre argamassa; e eliminação de revestimento.

Actualmente assiste-se, em menor número, à continuação das práticas de tipo tradicional e à substituição integral dos azulejos originais por réplicas ou por novos padrões, bem como à eliminação dos revestimentos. Estes modos de intervenção revelam, na maioria das vezes, uma não ponderação face às necessidades concretas e desconhecimento de metodologias alternativas.

2.2 Técnicas alternativas de intervenção

2.2.1 Conservação

A conservação contempla medidas preventivas e correctivas que visam garantir satisfatoriamente as funções dos materiais ou componentes do edifício durante a fase de uso. Especificamente quanto ao revestimento com azulejo, a conservação deverá abranger operações de diagnóstico, de limpeza dos depósi-

tos superficiais (poluentes, partículas, concreções salinas), eliminação de microrganismos, de plantas e de peças metálicas sem função, a consolidação de materiais e interfaces e a substituição de argamassas de junta. Deverá ainda ser verificado o estado de funcionamento dos elementos/componentes adjacentes ao revestimento com influência directa ou indirecta no seu comportamento.

Estas acções têm como principal vocação corrigir disfunções e alargar a durabilidade da solução, mas abarcando todo o "envelope" de modo integrado. As acções de conservação devem ter um carácter excepcional e estar integradas num quadro de monitorização e de manutenção adequado: as inspecções com uma regularidade inferior a dois anos e as intervenções uma periodicidade superior a cinco anos. O intervalo entre estas pode ser encurtado em caso de elevada agressividade e intensidade das solicitações e se, em simultâneo, houver boa acessibilidade. O parâmetro qualidade/durabilidade deve ser considerado trave mestra a toda a intervenção.

2.2.2 Reutilização, uso de azulejos antigos

Deve ser assegurado o princípio da preservação dos materiais originais e, em concreto, dos azulejos. Quando há absoluta necessidade de remoção de azulejos do suporte, estes devem ser estabilizados e armazenados para, em momento oportuno, serem reaplicados; se não forem usados, devem ser colocados à disposição em depósitos públicos, como o Banco de Materiais da Câmara Municipal do Porto, ou em depósitos privados, que armazenam materiais provenientes de demolições. A estes locais é possível recorrer para suprir faltas de azulejos originais iguais ou semelhantes. Esta é a atitude a ser implementada sempre que possível, uma vez que preserva revestimentos antigos e os reintegra na sua função primordial. É também uma atitude ecologicamente correcta concorrendo para a sustentação económica, já que, na maioria das situações, a produção ou aplicação de outras soluções resulta mais onerosa. A principal limitação é a dificuldade de encontrar azulejos de formato e desenho iguais, e nas quantidades necessárias. Em alternativa é possível a utilização de azulejos antigos com motivos diferentes, será no entanto importante respeitar o diálogo entre padrões, o valor individual do pano/edifício e as características da envolvente. Neste particular deve haver um estudo de integração dos elementos.

2.2.3 Restauro

Existe a possibilidade de usar técnicas típicas de acções de conservação e restauro de bens patrimoniais de valor relevante. Contudo, costumam ser mais morosas e a maioria dos produtos não apresenta estabilidade perante as solicitações correntes, mais exigentes que em ambientes controlados. Previamente às acções de restauro são executadas as acções de conservação que assegurem estabilidade às reintegrações volumétricas e cromáticas. A família de produtos mais usada para o preenchimento de lacunas – materiais orgânicos como epó-

xidas e poliésteres – serve ainda de aglutinante a pigmentos (orgânicos e minerais) e de "verniz" de protecção. Pode recorrer-se a produtos inorgânicos ou a mistos preponderantemente inorgânicos mas com aditivos orgânicos. Em condições de exterior a maioria dos materiais orgânicos não preenche todos os critérios de selecção, em especial no que respeita à autenticidade, à compatibilidade físico-química e às características de envelhecimento estável e similar aos originais. Além destes parâmetros deve ser ponderada a durabilidade expectável dos materiais, pelo que esta técnica será principalmente reservada a painéis de elevada qualidade técnico-artística.

2.2.4 Regeneração

Esta técnica, inicialmente concebida pelo Departamento de Conservação e Restauro do Museu Nacional do Azulejo, usa materiais cerâmicos para preencher lacunas volumétricas e vidrados para reintegrações cromáticas em azulejos históricos. A premissa base é o uso de técnicas semelhantes às originais para completar áreas mais ou menos significativas de um azulejo num processo manual: produção de uma placa em argila de cor e textura semelhantes às originais e sua cozedura; desbaste até adquirir a forma da lacuna; reintegração cromática com pigmentos cerâmicos e consequente cocção. As duas peças, original e reintegração, podem ser unidas com adesivo sintético.

A regeneração foi desenvolvida e o processo apurado pela *Escuela Taller Plaza de España* (Sevilha) [2]. Em vez de todo o trabalho de modelação da área em falta, criaram uma pasta cerâmica de retracção reduzida (< 1%), as "argilas correntes" apresentam retracções de 8 a 12%. Este processo permite uniões mais perfeitas, em caso de se optar por preenchimentos independentes, por efectuar colmatações "unidas" à peça original, bem como a "colagem" de fragmentos. Estas argilas suportam ainda a reintegração cromática com tintas cerâmicas. A imagem seguinte apresenta alguns exemplos efectuados por meio de regeneração (Figura 2).

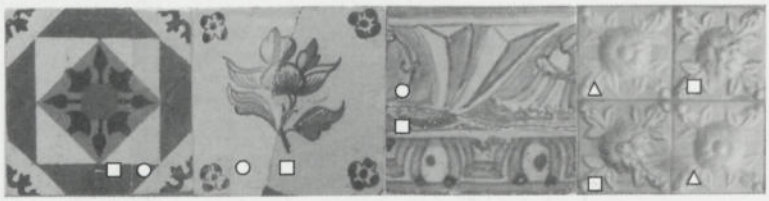


Figura 2: Preenchimento volumétrico e cromático com material cerâmico (círculo), original (quadrado) e réplicas (triângulo). As reintegrações no segundo e terceiro azulejos estão separadas do original, inversamente ao primeiro azulejo que está unido.

2.2.5 Réplicas

A produção de peças semelhantes às originais é uma prática corrente nas acções de reabilitação para colmatar lacunas pontuais ou mesmo para substituir

integralmente o revestimento original. O número de *ateliers* que se dedicam a este trabalho tem vindo a crescer, o que representa uma inversão positiva do quadro existente, permitindo a continuidade das técnicas tradicionais. As principais dificuldades prendem-se com a reprodução dos volumes originais de azulejos relevados e das cores originais (Figura 2, à direita). A principal vantagem é a produção do padrão na quantidade pretendida.

2.2.6 Substituição dos revestimentos originais por panos azulejares novos

Se bem que de parca utilização em intervenções, é possível preconizar a substituição parcial ou integral do revestimento original por um pano contemporâneo. Duas atitudes poderão ser aplicadas: desenho de novos padrões inspirados na produção antiga e aplicação de azulejos de desenho contemporâneo.

A primeira atitude assegura a continuidade rítmica e urbanística em contextos fortemente marcados por revestimentos em azulejo, em especial nos centros históricos. Esta solução com azulejos de padrão, painéis ou quadros é aplicável quer em edifícios antigos quer em edifícios contemporâneos (Figura 3). A criação de novos desenhos de padrão, de painéis ou quadros com motivos contemporâneos é outra possibilidade de intervenção. É uma atitude que, à semelhança da anterior, carrega o conceito tradicional e a permanência da imagem da cidade e do seu revestimento mais característico. No entanto, o emprego destas práticas não é comum nem se verifica o seu incentivo.

É possível efectuar intervenções apoiadas na adopção de motivos novos, desenhados especificamente para um edifício, ou recorrer a padrões preexistentes. Ressalve-se que os motivos devem conter um sentido de relação, pelo que não se considera adequada a aplicação de padrões de interior uma vez que os ritmos, os motivos e a escala são diferenciados da azulejaria de exterior.

O trabalho de concepção de padrões de azulejos específicos para o exterior de edifícios obedece a regras da criação. Na concepção destes padrões deve-se considerar a escala e a paleta cromática de modo a que os ritmos e a proporção do motivo dialogue com o edifício, no sentido da valorização. Será conveniente efectuar estudos de integração em programas de simulação para prever os ritmos gerais do padrão ou do painel em relação ao edifício e na mancha urbana.

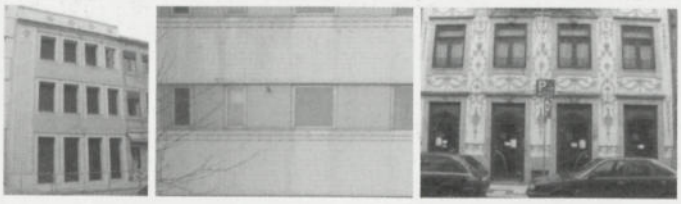


Figura 3: Azulejos de padrão em edifício antigo e contemporâneo, e painel inspirado na azulejaria antiga da autoria do pintor Fernando Gonçalves.

A inserção de quadros ou frisos de padrão distinto, apesar de não ser aplicada linearmente nas operações de reabilitação foi utilizada com frequência na cidade do Porto, não através da integração de azulejos, mas por meio de argamassas simples ou pintadas. A opção de retirar azulejos e deixar a alvenaria à vista falsifica a autenticidade material e estética do imóvel e pode induzir a anomalias para a alvenaria, as argamassas e para o próprio azulejo.

3 Conclusões

Face à importância dos revestimentos azulejares nos contextos urbanos portugueses é premente a definição de critérios, metodologias e objectivos de intervenção, adequados às exigências gerais (manutenção da autenticidade, de compatibilidade, de durabilidade e de economia) e obrigatórias (resistência mecânica e estabilidade, segurança contra incêndios, higiene, saúde e ambiente, segurança na utilização e protecção contra o ruído).

As práticas correntes privilegiam o uso de réplicas, frequentemente em número desproporcionado face às necessidades reais, e as restantes técnicas só raramente são usadas. Facto que não se encontra em linha com a necessidade de preservar a autenticidade e as características do edifício e dos seus componentes. Sinteticamente, deve ser privilegiada a investigação e a acção interdisciplinar de modo a preservar os valores pertinentes, as intervenções devem restringir-se ao mínimo indispensável, evitando a eliminação sistemática de adições históricas, seguindo a lógica da intervenção mínima. Os produtos e métodos não devem alterar as propriedades físico-químicas dos materiais nem a estética do bem, devendo ser "inócuos" e reversíveis.

4 Agradecimento

O primeiro autor agradece à FCT o apoio financeiro para a realização deste trabalho, através da bolsa de investigação SFRH/BD/18248/2004.

5 Bibliografia

[1] Ferreira, L.M. *Arquitecuras de Cerámica vidriada.* Porto, Bilbao: Universidad del País Vasco, 2006.

[2] López, M.M. (coord). *Técnicas y fórmulas aplicadas a la reproducción de los elementos cerámicos de la Plaza de España.* Sevilla: Ayuntamiento de Sevilla, 2002.

VANTAGENS E CONDICIONANTES DA APLICAÇÃO DE "ETICS" NA REABILITAÇÃO DE FACHADAS

Apoio à Decisão e Casos de Estudo

J. A. Raimundo Mendes da Silva*
raimundo@dec.uc.pt

Maria Isabel Morais Torres†
itorres@dec.uc.pt

Vitor Hugo Abalada‡
abalada@gmail.com

Resumo

As recentes alterações na regulamentação portuguesa relativamente às características de comportamento térmico dos edifícios vieram sublinhar a necessidade de garantir boas condições de isolamento dos elementos da envolvente dos edifícios, onde as fachadas têm papel de destaque.

Também nos edifícios existentes se vai colocar a necessidade (ou apenas evidente vantagem) da reabilitação das fachadas com reforço das suas características térmicas e redução das pontes térmicas, sendo claramente atractiva a adopção de sistemas de ETICS, cujas vantagens e condicionantes são objecto de análise neste artigo, onde também se apresentam instrumentos de apoio à decisão suportados por casos de estudo.

Palavras-chave: Isolamento térmico, ETICS, Reabilitação de fachadas.

1 Introdução

A nova regulamentação portuguesa sobre as características de comportamento térmico dos edifícios – RCCTE (DL 80/06) [1] – veio reforçar as exigências de isolamento térmico da sua envolvente e da utilização racional de energia em resposta à Directiva Europeia 2002/91/CE [2]. Recorde-se, por exemplo, a redução dos valores de referência para o coeficiente de transmissão térmica da envolvente opaca (U), a limitação do valor de U para as zonas hete-

* Professor Auxiliar do Dep. de Eng. Civil da Universidade de Coimbra.
† Professora Auxiliar do Dep. de Eng. Civil da Universidade de Coimbra.
‡ Aluno MIEC (2007-2008) Dep. de Eng. Civil da Universidade de Coimbra.

rogéneas (pontes térmicas) a duas vezes o valor da zona corrente confinante e, ainda, o aumento da temperatura interior de conforto no Inverno para 20 °C.

A nova regulamentação [1] é aplicável a todos os novos edifícios, às grandes intervenções de remodelação ou alteração na envolvente e nas ampliações. Já nos edifícios existentes não sujeitos a intervenções de fundo, assume um papel distinto, uma vez que se aplica em regime simplificado e serve como mecanismo de informação e diferenciação sobre o desempenho energético nos casos de celebração de contratos de venda e de locação, incluindo o arrendamento. Aí, a melhoria do comportamento térmico surge na reabilitação mais vezes pela determinação do projectista e do dono da obra em garantir um uso mais racional da energia e aumentar o conforto, do que por requisitos legais.

É nos edifícios existentes que surgem os maiores desafios, quer pelo seu quase generalizado deficiente comportamento térmico, quer pelo seu grande número, quer, ainda, pelo leque limitado das soluções de reabilitação disponíveis, tendo em consideração as exigências de coerência e compatibilidade construtiva e arquitectónica com a pré-existência.

Entre as soluções de reabilitação térmica das fachadas com 30 a 40 anos, tem merecido particular atenção o isolamento exterior com revestimento delgado armado ("ETICS" - External Thermal Insulation Composite System), que também é o tema central deste estudo, que decorre de uma dissertação do Mestrado Integrado em Engenharia Civil (MIEC) na Universidade de Coimbra [3].

2 Breve descrição do sistema de isolamento exterior "ETICS"

Em Portugal, o sistema ETICS mais divulgado usa placas de poliestireno expandido (EPS) - fixadas sobre paredes de alvenaria - e revestimento delgado de argamassa sintética - armado com rede de fibra de vidro, ou equivalente, com malha de cerca de 4 mm - acabado com massa plástica ou pintura (fig.1).

Apesar dos seus vinte anos em Portugal, o sistema ETICS não está tecnicamente conhecido e dominado ao nível do projecto, da execução e da manutenção. É o momento de partilhar sucessos e insucessos e analisar detalhadamente casos de estudo que, pela sua natureza, possam contribuir para a criação de uma metodologia de escolha de soluções de reabilitação de fachadas.

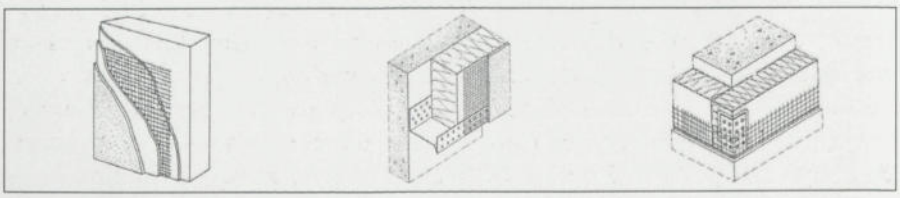


Figura 1: Aspecto geral e pormenores de referência de um sistema de ETICS [4]

3 Vantagens e condicionantes do sistema "ETICS"

Os sistemas de isolamento térmico pelo exterior com revestimento delgado armado apresentam, quer em construção nova, quer em reabilitação, diversas vantagens comuns a outras soluções congéneres, nomeadamente as que decorrem da sua acção isolante, outras da sua posição exterior, outras ainda pela protecção que conferem contra a acção da água da chuva. Têm, em relação a outros sistemas, como é o caso do isolamento exterior sob revestimento independente ("bardage"), a vantagem do seu peso mais reduzido e da menor espessura final total da fachada.

As vantagens que decorrem do aumento da resistência térmica da parede (redução das perdas de energia e redução da probabilidade das condensações superficiais interiores por aumento da temperatura superficial desses paramentos) dispensam abordagem detalhada.

A posição exterior do isolamento traduz-se no aumento da inércia, na uniformização das perdas de calor e na diminuição das condensações intersticiais. O aumento da inércia térmica tem proveitos conhecidos, quer no Verão, com atraso e amortecimento da onda de calor, quer no Inverno, com a gestão mais eficaz dos ganhos solares. A uniformização da resistência térmica faz a correcção das pontes térmicas com grande eficácia e sem recurso a soluções construtivas excepcionais e de comportamento melindroso, como é o caso das protecções cerâmicas exteriores. Esta protecção exterior da parede diminui, ainda, no Inverno, o risco de condensação intersticial, uma vez que, aumentando a temperatura interior de toda a parede, eleva também os valores internos da pressão de saturação, diminuindo a probabilidade de que a pressão do vapor de água que atravessa essa parede os atinja e o faça passar ao estado líquido.

A protecção contra a água da chuva é, aqui, garantida pela estanquidade do revestimento delgado armado, não só pela sua composição, mas sobretudo pela resistência conferida pela armadura e pela distribuição de tensões que ela introduz, precavendo o aparecimento de fissuração com dimensão susceptível de permitir a entrada de água.

Deve referir-se, no caso do ETICS, a vantagem na redução de espessura das fachadas e o seu custo competitivo, quando avaliado globalmente com as alvenarias de suporte, em pano simples, que lhe podem estar associadas.

Este sistema exige pormenorização detalhada e é muito sensível aos erros de aplicação. As suas limitações e defeitos mais frequentes já são conhecidos e impõe-se que sejam definitivamente ultrapassados: vulnerabilidade mecânica em zonas acessíveis, falta de planeza, arrancamento em fachadas altas com vento forte, fissuração entre placas por erro de aplicação da armadura (falta de sobreposição) ou deficiente colmatação de vazios entre placas e vulnerabilidade à acção da água quando aplicado em superfície horizontal no exterior.

4 Apoio à decisão na reabilitação de fachadas

No âmbito do MIEC, desenvolveu-se uma grelha de apoio à escolha da solução correctiva a aplicar sobre fachadas opacas fissuradas [3], com base na identificação de perguntas chave para o diagnóstico e para o projecto [5].

Aplicou-se a referida metodologia e instrumentos de apoio a três casos de estudo com carácter académico, uma vez que são três edifícios potencialmente pedagógicos (ver Figura 2), mas sobre os quais os autores não têm qualquer jurisdição. Este artigo apenas se debruça sobre o edifício (a), por ser aquele em que as dificuldades de reabilitação são maiores e não se considera possível manter o tipo de revestimento inicial. Será ou não o "ETICS" recomendado para este tipo de fachada? Quais são as alternativas? De forma breve - e usando como suporte fotografias de pormenor – apresenta-se uma contribuição para a criação de um quadro de referência neste contexto (ver Figuras 3 e 4).

Na reabilitação de fachadas opacas que se encontrem fissuradas, vulneráveis à acção da água e com deterioração ou queda de revestimentos é fundamental levar a cabo uma intervenção global que, nos casos mais complexos, se inicia com a estabilização da alvenaria, a reparação das fissuras, incluindo a promoção da sua estanquidade, a consolidação da camada de acabamento e a sua reparação ou substituição. Em muitos casos exige-se um acabamento complementar, distinto do acabamento existente, e um revestimento decorativo.

O sistema pode ser aplicado sobre suportes heterogéneos e com ligeiras deficiências de planeza, pode ser fixado por pontos e com reforço mecânico de fixação nas superfícies menos aderentes e pode suportar pequenos movimentos da parede (por exemplo no caso de fissuras que, embora estabilizadas, constituam juntas de expansão-contracção naturais). Sendo aplicado pelo exterior, não reduz o espaço habitável mas, em contrapartida, exige sistemas e acessórios complementares nas zonas dos peitoris e remates com elementos confinantes, em consequência do espessamento da parede pelo exterior.

Este revestimento - "ETICS" - assume, assim, um carácter multifuncional e, face às características expostas, pode reduzir ou eliminar a necessidade da reabilitação exaustiva das fissuras e da sua vedação à água, bem como da rigorosa uniformização do suporte.



Figura 2: Edifícios adoptados para caso de estudo (Esq-Dir: a – b – c).



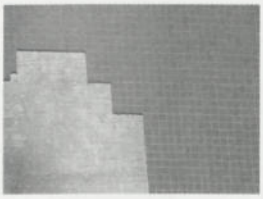
Fachada corrente da década de 70 com estrutura de betão armado e paredes de alvenaria (que se crê dupla, sem isolamento térmico e sem dispositivos de ventilação ou drenagem). Revestimento cerâmico colado (pastilha) de cor escura, contrastando com superfícies rebocadas, de cor clara. Varandas exteriores recuadas. Superfícies exteriores com rebaixo entre janelas e panos salientes na guarda da varandas. Fissuração e descolamento do ladrilho. Degradação dos rebocos. Infiltrações localizadas.



Em alvenarias muito fissuradas, instáveis ou com deslocamento perpendicular ao plano, exige-se a sua estabilização prévia e a correcção da planeza. Nos casos mais graves pode implicar grampeamento metálico ou demolição e reconstrução da platibanda, uma vez que a estabilização é geralmente difícil e a fissuração é evolutiva. Deve avaliar-se o risco de aplicação de qualquer revestimento contínuo nestas zonas. A aplicação de ETICS exige novos capeamentos, mais largos, e de preferência metálicos.



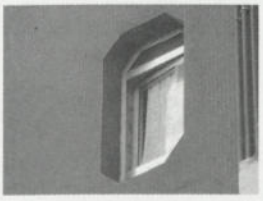
A fissuração das paredes por deformação das consolas é um grande desafio à reabilitação durável das fachadas: as fissuras não estabilizam e, em geral, têm expressão significativa e deslocamentos fora do plano da parede. Mesmo após grampeamento e/ou colocação de agrafos metálicos com maior imobilização e a garantia de dissipação de tensões nas zonas de fixação, exige-se um revestimento que, como o "ETICS", seja leve, capaz de suportar algumas deformações e diminuir as solicitações térmicas.



A possibilidade de aplicação do sistema sobre suportes heterogéneos é uma das suas vantagens. No entanto, exige-se uma prévia regularização nas zonas desniveladas, com produto de colagem, e uma avaliação geral das condições de aderência do ladrilho cerâmico à parede e entre este e o "ETICS". A avaliação dos custos de remoção total do revestimento existente versus a aplicação directa do "ETICS" sobre o ladrilho, com eventual fixação mecânica, é essencial para a escolha do modo de execução.



O pequeno desenvolvimento do peitoril e da ombreira, incompatível em termos funcionais com o aumento de espessura da parede provocado pelo sistema, é uma condicionante relevante. As soluções passam pela substituição dos peitoris ou colocação de sistemas complementares (superiores ou inferiores), em geral metálicos, de prolongamento do peitoril. Solução equivalente pode ser adoptada para as ombreiras quando, face à sua geometria original, não seja desejável a dobragem do sistema.



A geometria não convencional da janela (forma octogonal) implica um particular cuidado no corte das placas de isolante e na aplicação dos elementos metálicos de protecção das arestas. O plano horizontal exposto (peitoril sem revestimento específico) exige, também um elemento de protecção complementar, com remate dificultado pela forma da ombreira. Esta, dificilmente será isolada, como seria desejável, se se mantiver a caixilharia, atendendo à dimensão do aro, próxima da espessura do isolante.

Figura 3: Aspectos construtivos, pontos singulares e anomalias do caso de estudo (a).



As arestas com ângulos diferentes de 90º, o rebaixamento dos panos de peito das janelas em relação aos paramentos exteriores em ladrilho e os acessórios fixados nas fachadas (tubos de queda, cablagem, letreiros publicitários, ...), obrigam a um projecto criterioso e a uma maior destreza da mão de obra. Entre as medidas correntes estão a utilização de placas de espessuras diferentes, o biselamento/raspagem de placas e o levantamento e reposição de acessórios com fixação adequada aos "ETICS".



Recortes e saliências com difícil acesso para realizar os remates e incompatíveis com o aumento de espessura provocado pelo sistema condicionam a sua aplicação e obrigam a excepções: variação da espessura do isolante; uso de revestimento delgado armado sem isolante; alteração/eliminação do ponto singular. Todas as soluções têm repercussões arquitectónicas que importa avaliar. Os elementos sem contacto com o interior podem dispensar, se necessário, o isolamento térmico (guardas e tectos de varandas).

Figura 4: Aspectos construtivos, pontos singulares e anomalias do caso de estudo (a).

5 Notas Finais

O sistema "ETICS" constitui uma solução relevante na reabilitação de fachadas, apresentando resposta integrada a um conjunto de exigências das quais se destacam o reforço de isolamento térmico, a estanquidade à água e a melhoria do aspecto geral dos paramentos. As grandes limitações decorrem, sobretudo, da geometria das fachadas. A prescrição do sistema "ETICS" em reabilitação tem que ser um acto de projecto no seu sentido mais global. O caso de estudo apresentado vai desvendando um percurso de questões inerentes ao processo de escolha de revestimentos ditos correctivos.

6 Bibliografia

[1] RCCTE. *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios*. Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril.

[2] DIRECTIVA 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Concelho de 16 de Dezembro de 2002 relativa ao desempenho energético dos edifícios.

[3] ABALADA, V.H.M. *Aplicação de Sistemas de Isolamento Térmico pelo Exterior (ETICS)*. Dissertação de MIEC, FCTUC, Coimbra, 2008.

[4] LUCAS, J. A. C.: *Classificação e descrição geral de revestimentos para paredes de alvenaria ou betão – ITE 24*.Lisboa: LNEC, 1990.

[5] SILVA, J.A.R.M.; CARVALHAL, M.J.T. *Reabilitação Geral de Fachadas de Alvenaria de Construção Recente, Gravemente Fissurada, Caso de Estudo* – 3.º ENCORE, Lisboa, LNEC, 2003.

DIAGNÓSTICO COMPARATIVO DA EFICÁCIA DOS SILANOS APLICADOS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO COM CORROSÃO DE AMADURAS POR ÍONS CLORETOS

E.C.B. Monteiro*
nana.monteiro@uol.com

K. S. Almeida†
kallinealmeida@yahoo.com.br

S. A. Monteiro‡
samonte@entel.eng.br

M. Q.Oliveira§
manuelaqueiroz.eng@gmail.com

Resumo

Em virtude do alto índice de ocorrência de corrosão por íons cloretos em estruturas de concreto armado, torna-se importante o estudo do fenômeno, pois é um problema que atinge principalmente áreas litorâneas onde a maior parte das edificações está sujeita à ação da névoa salina, umidade e temperatura, condições propícias para acelerar a cinética do processo corrosivo.

Neste trabalho, procurou-se estudar a eficiência de três marcas de silanos inibidores de corrosão, em corpos-de-prova contaminados por cloretos. Realizaram-se ensaios acelerados de corrosão, de modo a avaliar de forma comparativa o desempenho dos silanos, utilizando o cimento CPII Z-32. Existiram duas situações: corpos-de-prova com e sem aplicação dos silanos. Para cada um desses casos foram moldados dois corpos-de-prova com relações água/cimento 0,4 e 0,7. Ao longo do ensaio com cloretos, a grandeza medida foi o potencial de corrosão (Ecoor).O procedimento adotado possibilitou analisar de forma comparativa a capacidade de proteção dos silanos inibidores de corrosão, quanto ao ataque ocasionado pela penetração dos íons cloreto. Desse modo, ficaram claras as vantagens do uso destes materiais para a inibição da corrosão.

Palavras-chave: Corrosão, Cloretos, Silanos.

*Professora, Doutora em Engenharia Civil– Escola Politécnica de Pernambuco – POLI
† Graduada em Engenharia Civil – Escola Politécnica de Pernambuco- POLI
‡ Doutor em Engenharia Civil – Escola Politécnica de São Paulo - USP
§ Graduada em Engenharia Civil – Escola Politécnica de Pernambuco- POLI

1 Introdução

Este presente trabalho tem o objetivo de avaliar a eficiência dos silanos inibidores de corrosão em corpos-de-prova de concreto armado contaminados por cloretos, moldados em laboratório.

Diante dessa diversidade de produtos e sistemas para prevenção do reparo de estruturas de concreto, através dos resultados deste trabalho espera-se contribuir para o conhecimento dos mecanismos de funcionamento dos diferentes silanos analisados, permitindo o conhecimento do seu comportamento e sua real eficácia.

Portanto, uma investigação da viabilidade dos silanos inibidores de corrosão é de grande importância e justifica-se na medida em que fornece à comunidade técnica elementos para discernir o uso desses sistemas nas obras de proteção e reparo de estruturas de concreto armado atacadas por íons cloretos.

2 Procedimento Experimental

2.1 Materiais Utilizados

Foram moldados corpos-de-prova de argamassa armados com os seguintes materiais: Cimento Portland Composto com Pozolana (CPII-Z 32), aço CA-60, Silanos inibidores de corrosão e areia natural oriunda da região.

No presente trabalho foram utilizadas três marcas de silanos inibidores de corrosão. Elas consistem basicamente em tintas que são aplicadas na superfície do concreto e que agem como barreiras para o acesso dos agentes agressivos. As características dos silanos estão descrita na Tabela 1. Segundo os fabricantes, os silanos apresentam um penetrante não formador de película, com moléculas extremamente pequenas, garantindo maior penetração através dos vazios e capilares do concreto.

Este trabalho deteve-se a comparar os silanos de um mesmo sistema com uma série de referência, sem a aplicação dos silanos.

Tabela 1: Dados Técnicos.

Inibidor	Consumo	Composição	Densidade	pH:	Descrição
Material A	3 a 4 m^2/litro	Resina de Silicone	0,76 g/cm^3	8 a 9,5	Líquida base silano-siloxano
Material B	300 g/ m^2	Silano/siloxano	0,960 g/cm^3 a 1,00 g/cm^3	6 a 9	Líquido branco inodoro
Material C	10m^2/litro	Silano/siloxano	0,8g/cm^3	9,5 e 10,5	Líquido transparente

2.2 Metodologia Utilizada

As séries dos corpos-de-prova estão descritas Tabela 2.

Tabela 2: Denominação das séries de silanos.

Séries	Pintura	A/C	Cura (dias)	Traço*	Consumo de cimento
S 0,4	Material A	0,4	7	1:3	462 kg/m^3
S 0,7	Material A	0,7	7	1:3	462 kg/m^3
A 0,4	Material B	0,4	7	1:3	462 kg/m^3
A 0,7	Material B	0,7	7	1:3	462 kg/m^3
M 0,4	Material C	0,4	7	1:3	462 kg/m^3
M 0,7	Material C	0,7	7	1:3	462 kg/m^3
REF 0,4	Referência	0,4	7	1:3	462 kg/m^3
REF 0,7	Referência	0,7	7	1:3	462 kg/m^3

Os corpos de prova do presente trabalho foram confeccionados nas dimensões de 60 x 80 x 25 mm, com duas barras de 5.0 mm de diâmetro, 100 mm de comprimento e com cobrimento de 10 mm. Para cada material foram feitos dois corpos-de-prova, variando a relação água/cimento (0,4 e 0,7). A cura foi feita na câmara úmida. Depois de curados os corpos de prova permaneceram em ambiente de laboratório por 15 dias, com umidade relativa em torno de 80% e temperatura de aproximadamente 30 °C.

Em seguida, deu-se início ao ensaio com cloretos onde os corpos de prova foram submetidos a ciclos de secagem e imersão parcial em solução de 5% de Nacl.

A condição de secagem consistiu em dispor os corpos de prova em estufa ventilada, mantendo-se a temperatura em 50 °C durante 5 dias. Na condição de imersão parcial manteve-se o nível da solução do recipiente em uma posição que corresponde à metade da altura da área de exposição da barra, durante 2 dias. Deste modo, tem-se absorção por capilaridade e, uma vez que ocorra a saturação, temos o processo de difusão. A freqüência de medição das variáveis eletroquímicas era feita ao final de cada semiciclo.

A grandeza medida ao longo do ensaio foi potencial de corrosão (Ecorr).

Para as medidas das variáveis eletroquímicas, utilizou-se um voltímetro de alta impedância, eletrodo de referência (eletrodo de cobre/sulfato de cobre, para medida de potencial de corrosão).

3 Resultados

As Figuras 1 e 2 apresentam o desenvolvimento do potencial de corrosão, com o passar do tempo, para corpos-de-prova com relação água/cimento 0,4 e 0,7 respectivamente. Essas leituras foram processadas ao final de cada semciclo do experimento.

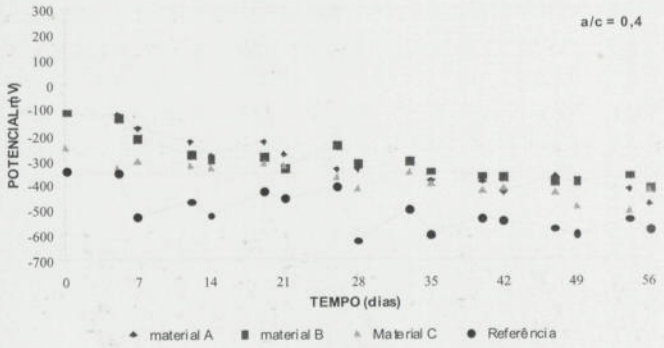


Figura 1: Evolução do potencial de corrosão com o tempo para corpos-de-prova com relação a/c 0,4.

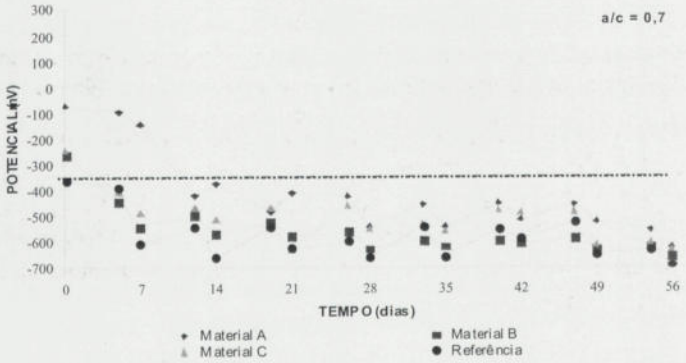


Figura 2: Evolução do Potencial de corrosão como tempo para a relação a/c 0,7.

Observando os resultados apresentados nas Figuras 1 e 2 é fácil notar que os valores de potencial de corrosão das séries com relação a/c 0,4 são melhores que os encontrados para as relações a/c 0,7. Para a relação água/cimento 0,4 pode se notar que ao longo do experimento o Material B mostrou melhor desempenho, o qual pode ser verificado devido aos valores mais eletropositivos do potencial. Enquanto que para a relação água/cimento 0,7 observou-se

que o Material A mostrou melhores resultados entre os diversos materiais. Em ambos os casos a primeira série a despassivar foi sempre a de referência. Deve ser verificado que os melhores resultados apresentados foram os da série do Material A, sendo esta a última a despassivar.

4 Discussão

O momento da despassivação em todos os ensaios foi detectado quando o potencial de corrosão atingiu o valor de –350 mV como propõe a ASTM-876[1].

Na Figura 3 temos a duração da fase de iniciação para corpos-de-prova submetidos a ambientes contaminados por cloretos, para o caso dos silanos utilizados.

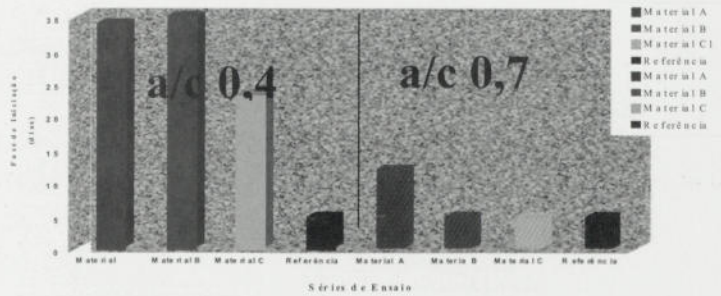


Figura 3 - Duração da fase de iniciação em dias para corpos de prova submetidos a ambientes contaminados por cloretos para ambas relações água/cimento.

Observando os resultados apresentados na Figura 3 é fácil notar que para a relação a/c 0,4 o material B apresentou maior fase de iniciação, enquanto que para relação a/c 0,7 o material A apresentou maior fase de iniciação em relação aos outros materiais. Pode-se também notar, que para relação água/cimento 0,4 as séries de ensaio apresentaram maior fase de iniciação quando comparadas à relação água/cimento 0,7.

5 Conclusões

Considerando as condições de ensaios aqui apresentadas podemos concluir para silanos estudados:

— A redução da relação água/cimento melhora o desempenho dos três tipos de silanos utilizados, quanto à corrosão por cloretos;

— O Material A teve o melhor desempenho em relação à corrosão por cloretos, principalmente para a relação água/cimento 0,7;

— Com a técnica utilizada, foi possível classificar os materiais em ordem decrescente de desempenho:

Material A >Material B > Material C

6 Bibliografia

[1] American Society for Testing and Materials, *Standard test method for acid-soluble cloride in mortar and concrete. ASTM C 1152*. 1992. Philadelphia: Annual Book of ASTM Standards.



SESSÃO XXIX

ESTUDO DE CASOS

ESTUDO DAS CAUSAS DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS EM FACHADAS

O Caso de Uma Obra do Programa de Melhoria da Comunidade da Construção de Fortaleza

Mairton Santos de Sousa*
mairtonsantos@yahoo.com.br

Maria Aridenise Macena Fontenele†
aridenise@ufscar.com.br

Resumo

Com o intuito de analisar a incidência das causas de manifestações patológicas no revestimento cerâmico em fachadas, foi realizado um estudo de caso em uma obra pública na cidade de Fortaleza, Brasil. Através de análise documental, ensaios laboratoriais e entrevista com engenheiro responsável, buscou-se identificar as causas das manifestações patológicas na fachada estudada. A qualidade dos materiais empregados e da mão-de-obra, a ausência de juntas e precauções a nível de projeto de fachada e de execução, são fatores considerados para incidência das manifestações patológicas. Levantamento e mapeamento cuidadoso de possíveis peças cerâmicas com presença de som cavo, promover a abertura de juntas e fazer uma aplicação de produto protetor de superfície do tipo teflon são algumas recomendações para a recuperação.

Palavras-chave: Patologia, Revestimento, Fachada.

1 Introdução

O revestimento cerâmico deve apresentar propriedades especificas e cumprir suas funções para que o edifício tenha um desempenho adequado. A finalidade do revestimento cerâmico é proteger os elementos de vedação do edifício, auxiliar as vedações no cumprimento de suas funções, isolamento térmico e acústico, estanqueidade à água e aos gases, segurança contra o fogo, regularizar a superfície dos elementos de vedação e proporcionar acabamento final [1].

* Engenheiro Consultor – Mairton Santos Engenharia de Fachadas.
† Professora Adjunta – UFSCAR.

Para que todas essas finalidades sejam cumpridas, é importante que seja executado dentro das normas técnicas e critérios adequados, mas o que vem ocorrendo é uma grande deficiência com relação aos métodos utilizados na construção de fachadas, gerando um aumento de patologias como: destacamento de placas, gretamento, eflorescência, trincas, fissuras e deterioração das juntas. Devido à grande incidência de patologias, os clientes têm demonstrado insatisfação, fazendo com que as equipes técnicas estudem as causas dos problemas e busquem soluções.

A fachada é uma das etapas da obra que mais se corrige pós-ocupação, e é a fachada o cartão de visita de uma construtora, aonde qualquer falha aparente que venha acontecer passa uma imagem negativa [2]. Existem profissionais da área que se interessam e estudam o assunto com o objetivo de evitar e/ou solucionar tais patologias. Através de um estudo literário sobre patologia dos revestimentos cerâmicos em fachadas e da análise do diagnóstico de desempenho do revestimento cerâmico realizado em um edifício da cidade de Fortaleza, será desenvolvido este trabalho, onde se demonstrará a importância de se utilizar normas técnicas e critérios adequados, projetos de qualidade e mão-de-obra especializada para a execução de fachadas.

1.1 Objetivo do Trabalho

Estudar as causas das patologias de revestimento cerâmico na fachada de uma edificação pública revestida em cerâmica na cidade de Fortaleza.

1.2 Metodologia

Este trabalho utilizará como estratégia de pesquisa o estudo de caso e será realizado através das etapas citadas a seguir:

— Estudo literário sobre patologia dos revestimentos cerâmicos em fachadas;

— Análise das patologias e suas causas em uma edificação pública revestida com cerâmica na cidade de Fortaleza;

— Elaboração de conclusões.

2 Obra Estudada

O estudo foi realizado em uma obra pública revestida com cerâmica na cidade de Fortaleza. A referida obra foi executada por uma construtora participante do Programa de Melhoria da Comunidade da Construção.

O estudo das causas das patologias nesta obra foi realizado através de entrevista com o engenheiro da construtora, observações visuais, registros

fotográficos, ensaios laboratoriais realizados pelo NUTEC e relatório de uma Consultoria contratada pela construtora.

2.1 Tipologia da Obra

A obra estudada localiza-se próximo a orla marítima, possui um pavimento térreo e dois pavimentos tipo.

3 Resultados

Foram realizados ensaios de determinação de aderência pelo NUTEC e de expansão por umidade (EPU) por uma Consultoria. Os resultados estão nas Tabelas 1 e 2.

Dos seis corpos de prova ensaiados nenhum atingiu o valor mínimo, que é de 0,30 Mpa [3]. Com os resultados obtidos no ensaio, verificou-se que para 10 corpos de prova ensaiados 8 apresentam valores acima do estabelecido, EPU < 0,6 mm/m, constatando que o tipo de cerâmica não é adequado para ser utilizada na fachada [4].

Tabela 1: Resultado do ensaio de determinação da aderência

AMOSTRA Nº	LOCAL DO ENSAIO	RESISTÊNCIA A ADERÊNCIA (Mpa)	LOCAL DE RUPTURA
01	Torre Esquerda	*	96% (d) / 4% (c)
02	Fachada Principal	0,28	11% (b)/87 (d)/ 2% (a)
03	Torre Direita	0,03	31% (a) / 6% (b)/ 63 (c)
04	Fachada Principal	0,10	100% (a) **
05	Fachada Principal	***	100% (a) **
06	Fachada Principal	0,21	23% (a) / 77% (c)

* Ruptura após o corte; ** Ausência de esmagamento completo dos cordões; *** Ruptura da placa no início da aplicação da carga; a) Ruptura na argamassa colante; b) Ruptura na interface argamassa colante / emboco; c) Ruptura no emboco; d) Ruptura na interface emboço / chapisco.

Tabela 2: Resultado do ensaio de EPU.

AMOSTRA Nº	CERÂMICA	EPU OCORRIDA (mm/m)	EPU (mm/m)
01	Cinza	0,50	0,25
02	Cinza	1,02	0,48
03	Cinza	0,90	0,30
04	Cinza	0,87	0,22
05	Cinza	0,50	0,10
06	Branca	1,14	0,47
07	Branca	1,12	0,47
08	Branca	1,17	0,69
09	Branca	0,99	0,53
10	Branca	1,10	0,50

4 Considerações Finais

A incidência das manifestações patológicas nas edificações está intimamente ligada à qualidade dos materiais empregados, a ausência de precauções a nível de projeto de fachada e de execução, e muitas vezes por negligência, displicência ou, por falta de conhecimentos técnicos adequados por parte dos profissionais que atuam na construção civil.

Embora a qualidade na construção civil venha crescendo bastante, as patologias não diminuem na mesma proporção de crescimento, mas tendem a acompanhar essa evolução. A ausência de juntas de movimentação e dessolidarização longitudinal e/ou transversal e deficiência no assentamento das cerâmicas foram considerados fatores críticos no destacamento das cerâmicas na edificação estudada. Isto significa que a elaboração do projeto de fachada e a capacitação dos profissionais são ações necessárias para evitar que este tipo de problema volte a acontecer. Não podemos afirmar que esse é o maior problema, mas podemos apresentar a gravidade causada em relação ao bem-estar, a valorização do imóvel e a poluição visual.

Os tipos de patologias abordados neste trabalho, causam prejuízo de ordem psicológica e a saúde de quem habita e/ou trabalha neste local, e de ordem financeira, devido a preocupação quanto aos altos custos na recuperação e o convívio num ambiente anti-estético.

Não se pode resolver esses problemas, se eles permanecerem somente no meio acadêmico. É preciso que os profissionais que atuam na construção civil busquem realizar o conjunto de serviços de acordo com as normas técnicas, procurem sempre qualificar e reciclar os seus conhecimentos, para que se possa oferecer ao cliente um produto de qualidade e reduzir o retrabalho pós-ocupação.

5 Bibliografia

[1] Baía, L. L. M. Sabbatini, F. H. *Projeto e execução de revestimento de argamassa*. São Paulo: O Nome da Rosa Editora, 2001

[2] Barros, M. M. S. *Como trabalhar com revestimentos evitando problemas patológicos*. In: Congresso Nacional Sobre Patologia e Recuperação de Estruturas, Sobral, Março 2003.

[3] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 13755 – *Revestimento de paredes externas e fachadas com placas cerâmicas com utilização de argamassa colante*. Rio de Janeiro, 1996.

[4] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 13818 – *Placas cerâmicas para revestimento – Especificação e métodos de ensaios*. Rio de Janeiro, 1997.

ESTUDO DAS CAUSAS DE DESPLACAMENTO CERÂMICO DA FACHADA PRINCIPAL DE UM EDIFÍCIO COMERCIAL LOCALIZADO EM ÁREA DE AGRESSIVIDADE AMBIENTAL III

Sérgio Lemos[*]

Eliana Cristina Barreto Monteiro[†]
nana.monteiro@uol.com.br

Manuela Queiroz Oliveira[‡]
manuelaqueiroz.eng@gmail.com

Ana Carmelita Menêzes Mota[§]
nani_ac@hotmail.com

Resumo

Este trabalho apresenta um estudo realizado em um edifício comercial na Região Metropolitana do Recife, onde buscou se verificar as causas que originaram o desplacamento cerâmico na fachada principal da edificação. O objeto em estudo está exposto a insolação com umidade média da região em 75% e grau de agressividade ambiental – III [1]. Foram realizadas visitas periódicas para observação do comportamento do revestimento cerâmico num determinado período. O diagnóstico foi baseado em dados obtidos durante estas inspeções. Durante as visitas, foi verificado o desplacamento do revestimento cerâmico na estrutura que recebe as tensões provocadas pela laje em balanço, denominada marquise. Foi também verificada a ausência das juntas de alívio de tensões na estrutura contribuindo para a geração de esforços de magnitude extremamente elevada, impossíveis de serem absorvidos pelos materiais integrantes da fachada, levando a diversas patologias, principalmente ao deslocamento das placas de revestimento. A análise realizada mostrou que a falta de planejamento no projeto do revestimento cerâmico, evidente com a falta de juntas de dilatação, resultou o desplacamento de várias cerâmicas ao longo da fachada. Principalmente numa região com forte incidência de insolação como é a Região Metropolitana do Recife. Sendo assim necessário destacar que as patologias podem resultar de problemas de concepção dos projetos executivos das edificações.

Palavras-chave: Revestimento, Marquise, Patologia.

[*] Doutorando em Engenharia Civil pela USP – São Paulo/SP.
[†] Professora Doutora da Universidade de Pernambuco – Recife/PE.
[‡] Engenheira Civil, formada pela Escola Politécnica de Pernambuco – Recife/PE.
[§] Engenheira Civil, formada pela Escola Politécnica de Pernambuco – Recife/PE.

1 Introdução

Este estudo analisa uma estrutura isostática de laje em balanço com 52,00 m² de vão luz, em concreto armado, revestida com manta asfáltica, emboço de argamassa de cimento, e seixos rolados espalhados com caráter decorativos. Esquematicamente esta marquise esta vinculada a vigas contínuas de bordo e de torção e, em transversal, com lajes e vigas vinculadas a vigas em balanços ou a vigas engastadas.

A marquise em estudo foi construído há 15 anos, locado na orla da praia de Piedade, Jaboatão dos Guararapes-PE, locado em área com grau de agressividade ambiental – III, zona de risco: Forte [1].

2 Esquema Estrutural

Esquematicamente, trata-se de uma estrutura em concreto armado, revestida com manta asfáltica. Sobre a manta asfáltica foi assentada argamassa de cimento, que tem o objetivo de regularizar a superfície para o assentamento das placas cerâmicas, e dar proteção mecânica ao revestimento asfáltico.

3 Inspeção Visual

Durante as visitas, foi verificado o desplacamento do revestimento cerâmico, na estrutura que recebe as tensões provocadas pela laje em balanço, denominada marquise, ilustrada na Figura 1. Notou-se que o desplacamento não acorreu entre a cerâmica e a argamassa de assentamento, mas sim entre o emboço e a manta de impermeabilização, como ilustra a Figura 2, sugerindo a realização de estudo que indique a origem, causas e efeitos desta patologia.

Considerou-se para análise deste dano, que a estrutura encontra-se em ambiente exposto a insolação com umidade média da região em 75% e temperatura que varia de 22° a 30° durante o ano.



Figura 1: Desplacamento de revestimento cerâmico.

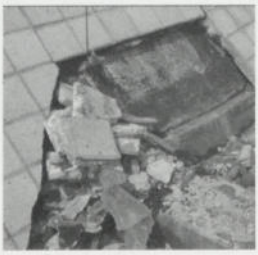


Figura 2: Desplacamento no emboço.

3.1 Origem

O assentamento de peças de cerâmica de elevado peso, como é o caso da cerâmica em questão, submete ao material de assentamento (argamassa de cimento e areia e argamassas colantes) altas exigências de desempenho, pois submete o elemento de aderência a altos esforços cortantes e cargas de arrancamento.

As trincas na face superior da estrutura que ancora a marquise, tanto na direção transversal quanto na longitudinal da estrutura como ilustra a Figura 3 e Figura 4, caracteriza a ocorrência de deformação na estrutura, devido a um fenômeno natural dos concretos, quando sujeitos a certa tensão constante ao longo do tempo, conhecida na literatura especializada como "Fluência".

Para alívio destas tensões, somadas a outras tensões impostas ao revestimento, à argamassa de assentamento, ao substrato de concreto, á estrutura de concreto armado, à interface entre materiais de propriedades distintas, como variações térmicas, variação de umidade, e todas as leis da física aplicáveis a este caso, aliadas as características reológicas dos materiais, obrigatoriamente exige a criação de juntas de alívio de tensões, o que não existe na estrutura analisada.

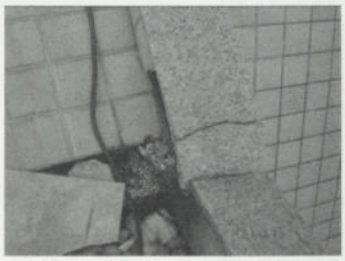


Figura 3: Fissura transversal.



Figura 4: Fissura longitudinal.

3.2 Causas

Recomenda-se para as juntas os seguintes critérios de execução:

— Execução de juntas de movimentação e de dessollidarização no máximo a cada 3 metros, bem como a execução de juntas verticais de movimentação espaçadas a cada 6 metros;

— Execução de juntas de dessolidarização nos cantos verticais, nas mudanças de direção do plano de revestimento, no encontro da área revestida com pisos e forros, colunas e vigas, ou com outros tipos de revestimentos, bem como onde houver mudança de materiais que compõe a estrutura de concreto para alvenaria [2].

As restrições impostas pela ausência destas juntas geram esforços de magnitude extremamente elevadas, impossíveis de serem absorvidos pelos materiais integrantes da fachada, que são rígidos levando a acarretar diversas patologias, principalmente ao deslocamento das placas de revestimento, que quando a aderência da argamassa ao substrato é suficientemente elevada, maior do que a resistência do revestimento cerâmico, este se rompe tal a magnitude dos esforços envolvidos.

3.3 Efeito

As camadas do revestimento de cerâmica, argamassa de assentamento e o substrato, foram previstas para estarem intimamente ligadas entre si. Estando ligados entre si, a deformação de qualquer uma delas devido a causas endógenas ou esforços externos, resultará em esforços atuando em cada camada.

Estas tensões causam deformações, como as abaixo relacionadas:

— Retração excessiva da argamassa do assentamento do revestimento, de traço com teor cimento, e elevado fator água/cimento e principalmente em revestimento excessivamente espessa, como pode ser vista na Figura 5;



Figura 5: Excessiva espessura de emboço.

— Deformação lenta da estrutura de concreto;

— Dilatação térmica por insolação;

— Dilatação originaria por infiltração de água pelas fissuras.

A combinação destes efeitos, com maior ou menor magnitude acarreta a formação de tensões permanentes e variáveis no revestimento e na sua ligação ao suporte, acabando por romper estas ligações, pela fadiga ou magnitude das tensões.

3.4 Consequências

Devido ao esquema estrutural principal, geralmente nas suas direções transversais, as marquises apresentam pouca vinculação ao restante da estrutura, configurando estruturas isostáticas ou, em alguns casos, estruturas com baixo grau de hiperasticidade. Assim, a perda de uma vinculação por qualquer causa que seja, pode ser condição suficiente para sua instabilidade, o que sugere atenção especial no projeto, na execução e na conservação desta no decorrer do tempo.

É sugestão deste estudo analisar o desempenho dos materiais (concreto e aço) que compõem a estrutura de engaste da marquise, visto que a percolação d'água no concreto, principalmente na zona de tensão máxima, conforme ilustra a Figura 6, pode acasionar corrosão por tensão na região de momento máximo, provocando o colapso frágil (instantâneo) da estrutura da marquise, ocasionando inclusive perda de vidas.

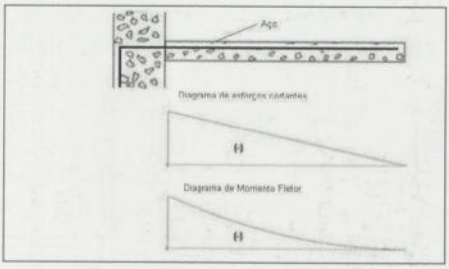


Figura 6: Diagrama de esforços.

A alta permeabilidade em que se encontra a fachada analisada, também gera danos a outros elementos, tanto estruturais quanto arquitetônicos e em equipamentos fundamentais para manter o habitabilidade do edifício analisado, sendo sugerida urgência nos reparo deste dano.

4 Considerações Finais

Este estudo indicou causas indiretas e diretas para a ocorrência da patologia do desplacamento do revestimento cerâmico na fachada principal.

4.1 Indireta

As fissuras existentes no revestimento da fachada demonstram a ocorrência do fenômeno da fluência na estrutura, que é uma deformação lenta quando sob carga constante ao longo do tempo bem como as deformações causadas por insolação e retração da argamassa de assentamento, conforme já citado neste

relatório. Estas deformações geram tensões de alta magnitude, ocasionando abertura de fissuras ao longo da estrutura.

4.2 Direta

Conforme citado no item 3.1 deste artigo, é normativo a necessidade de construção de juntas específicas, para aliviar as tensões geradas pelas deformações que naturalmente ocorrem nas fachadas de edifícios [2]. Devido a não existência destas juntas, as tensões de compressão abriram fissuras aleatórias, favorecendo a migração de agentes ambientais agressivos, causando o desplacamento generalizado do revestimento da área analisada.

Ainda as aberturas destas fissuras provocam a perda de desempenho do sistema de impermeabilização, facilitando a entrada de umidade na estrutura de concreto, ocasionando a despassivação do aço estrutural, redução da alcalinidade do concreto e devido a uma reação de natureza eletroquímica, ou seja, a formação de pilhas eletroquímicas no interior do concreto. Essas pilhas se caracterizam pela existência de uma área anódica, onde ocorre a reação de oxidação (área em que efetivamente se tem a perda de massa ou seção do aço da estrutura), e pela presença de uma área catódica, onde se dá a reação de redução de oxigênio, resultando no colapso da estrutura.

Este fenômeno de corrosão do concreto provoca a necessidade de avaliar o desempenho desta estrutura, através de um estudo específico, de forma a justificar a capacidade portante da marquise, que como já citado neste relatório pode vir a colapsar causando danos não previsíveis.

5 Bibliografia

[1] Associação brasileira de normas tecnicas. ABNT-NBR 6118 – *Projeto de estruturas de concreto.* Rio de Janeiro 2003.

[2] Associação brasileira de normas tecnicas. ABNT-NBR 13.755 – *Revestimento de paredes externas e fachadas com placas de cerâmicas.* Rio de Janeiro 1987.

AVALIAÇÃO DE SEGURANÇA DE UMA CHAMINÉ DE ALVENARIA DE TIJOLO

Valter Lopes*
valter.lopes@fe.up.pt

João Miranda Guedes†
jguedes@fe.up.pt

Esmeralda Paupério‡
pauperio@fe.up.pt

Aníbal Costa§
agc@ua.pt

Resumo

Durante o início do século XX verificou-se um acentuado desenvolvimento industrial em Portugal, marcado pelo aparecimento de diversas fábricas e complexos industriais, principalmente na zona norte do país. As novas cidades industriais importavam novos conceitos arquitectónicos, essencialmente de influência Inglesa, onde a revolução industrial tinha tido repercussões particularmente elevadas. As chaminés de alvenaria de tijolo maciço constituem valiosos exemplares da herança da arquitectura industrial. Actualmente existem imensas chaminés abandonadas ou simplesmente desactivadas, resultado do encerramento de muitos dos complexos industriais que as albergaram durante anos.

Apresenta-se nesta comunicação o estudo de um caso concreto de uma chaminé de alvenaria de tijolo maciço, situada nos arredores da cidade do Porto, que se encontra actualmente desactivada.

Numa primeira fase foi efectuado um levantamento geométrico rigoroso da chaminé através da tecnologia *laserscanning* que permitiu também definir a deformada que actualmente apresenta. De seguida foram identificadas e registadas as principais patologias apresentadas pela chaminé.

Posteriormente, foram realizados ensaios de vibração ambiental, que permitiram a identificação das frequências próprias e modos de vibração da estrutura. Estes resultados foram usados na calibração do modelo numérico elástico linear de elementos finitos, fornecendo assim as informações necessárias à determinação das características mecânicas da estrutura. Com base neste modelo foi feita a verificação de segurança da chaminé face às acções regulamentares: peso próprio, vento e sismo. Esta avaliação permitiu conhecer as zonas críticas da estrutura e equacionar as medidas de reforço mais adequadas.

Palavras-chave: Alvenaria, Identificação Modal, Modelação Numérica.

* Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Departamento de Engenharia Civil, Porto, Portugal
† Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Departamento de Engenharia Civil, Porto, Portugal
‡ Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Departamento de Engenharia Civil, Porto, Portugal
§ Universidade de Aveiro, Departamento de Engenharia Civil, Aveiro, Portugal

1 Introdução

A presente comunicação apresenta um caso de estudo da avaliação de segurança estrutural de uma chaminé de alvenaria de tijolo, situada nos arredores da cidade do Porto, que fez parte de uma antiga fábrica cerâmica e que se encontra inserida numa zona de cultural e de lazer, alvo de requalificação há cerca de 10 anos. Através da modelação numérica, apoiada nos dados provenientes de uma campanha de ensaios dinâmicos de vibração ambiental e de um detalhado levantamento geométrico e inspecção visual, com a identificação dos danos, foi efectuada a avaliação de segurança estrutural da chaminé face às acções regulamentares, permitindo determinar as zonas críticas da estrutura.

2 Caracterização Geométrica

O conhecimento da real geometria da chaminé é um dado essencial para a avaliação de segurança da chaminé. Com este propósito, foi efectuado um levantamento geométrico da estrutura através da tecnologia *laserscanning*. Este levantamento, efectuado por uma empresa privada, resulta numa nuvem de pontos muito densa, em que cada ponto possui a informação sobre as 3 coordenadas espaciais de um ponto particular da estrutura. Estes dados auxiliaram na construção de uma malha de elementos finitos que foi usada na avaliação e segurança da estrutura, e possibilitarão no futuro a monitorização dos movimentos da chaminé. Com uma altura total de 41,40m e um diâmetro exterior na base de 3,70m, a geometria da chaminé encontrava-se nesta fase completamente definida, incluindo a variação da sua espessura em altura.

3 Inspecção Visual

Com o auxílio de uma grua, a chaminé foi alvo de uma detalhada inspecção visual ao longo de toda a sua altura. Foram identificadas zonas com diferentes estados e tipos de degradação, tendo-se documentado toda a informação com base em registos fotográficos, apoiados nos esquemas provenientes do levantamento *laserscanning*.

Foram identificados dois tipos de alvenaria (alvenaria tipo 1 e alvenaria tipo 2 - Figura 1), indiciando dois períodos de construção distintos. Foram ainda identificadas diferentes zonas dentro de cada tipo de alvenaria (Material A a Material F - Figura 1), de acordo com o estado de degradação dos blocos de tijolo e ou da argamassa. Na Figura 1 indicam-se ainda as fissuras identificadas durante a inspecção visual.

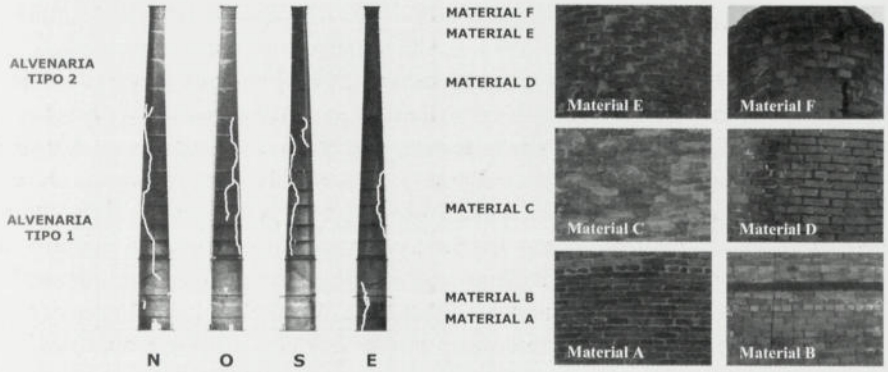


Figura 1. Identificação material e de dano.

4 Ensaios Dinâmicos de Vibração Ambiental

Uma análise preliminar da estrutura permitiu concluir que as direcções principais associadas ao seu comportamento dinâmico eram determinadas pela presença da abertura junto à sua base (Figura 2). Com base neste conhecimento, foi decidido o setup de ensaio, colocando-se os acelerómetros alinhados com as duas direcções principais, em 5 níveis diferentes e espaçados de cerca de 8m em altura (Figura 2). Cada um dos 9 setups correspondeu a um tempo de aquisição de 15 minutos, usando 2 acelerómetros fixos no topo e 2 móveis, percorrendo cada uma das posições numeradas de 1 a 9 na Figura 2.

Os dados adquiridos foram decimados e filtrados usando o software *Matlab*. Usando o software *ARTeMIS*, as frequências e modos próprios foram identificados com base no método *Enhanced Frequancy Domain Decomposition Peak Picking (EFDD)*.

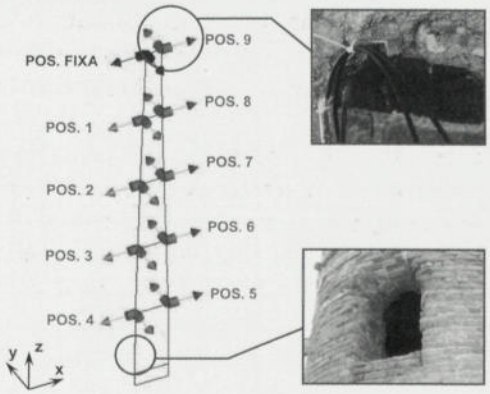


Figura 2. Setup de ensaio.

Os resultados destes ensaios, em termos de frequências próprias e deformadas modais, combinados com os resultados da inspecção visual efectuada, foram usados para calibrar um modelo numérico de elementos finitos volumétricos [1]. As diferentes zonas identificadas na inspecção visual (Material A a Material F - Figura 1), bem como as fissuras (ver Figura 1) foram consideradas no modelo numérico como zonas com diferentes valores de módulo de elasticidade, de acordo com a hierarquia de degradação previamente definida. A calibração do modelo numérico foi feita ajustando os resultados numéricos (frequências e deformadas modais) aos resultados experimentais, fazendo variar os valores do módulo de elasticidade de cada uma das zonas. A qualidade do ajuste foi medida através do erro em frequências e do parâmetro MAC [2], dado pela equação (1).

$$MAC = \frac{\left(\tilde{\varphi}_j^T \cdot \varphi_k\right)^2}{\left(\tilde{\varphi}_j^T \cdot \tilde{\varphi}_j\right) \cdot \left(\varphi_k^T \cdot \varphi_k\right)} \tag{1}$$

em que:

φ_k — modo numérico de ordem k;

$\tilde{\varphi}_j$ — modo experimental de ordem i.

Foram considerados os valores de 0,20 para o coeficiente de Poisson e de 1650kg/m^3 para a densidade [3]. Os valores obtidos para o módulo de elasticidade de cada tipo de material encontram-se expostos na Tabela 1, apresentando-se na Tabela 2 o resumo dos resultados da calibração.

Tabela 1: Valores de módulo de elasticidade obtidos para cada tipo de material.

E (GPa)	Material						
	A	B	C	D	E	F	Fissuras
	1.80	1.60	1.80	1.00	1.40	0.60	0.30

Tabela 2: Resultados da calibração do modelo numérico.

Modos Experimentais		Modos Numéricos		Erro (%)	MAC
Modos	Frequência (Hz)	Modos	Frequência (Hz)		
1	0.608	1'	0.606	0.329	0.955
2	1.878	4'	1.922	2.343	0.942
3	1.956	3'	1.893	3.221	0.920
4	4.318	6'	4.248	1.621	0.808
5	4.532	5'	4.199	7.348	0.905
6	7.674	9'	7.830	2.033	0.900
7	7.950	8'	7.740	2.642	0.914
8	11.350	12'	11.528	1.568	0.913

Modos Experimentais		Modos Numéricos		Erro (%)	MAC
Modos	Frequência (Hz)	Modos	Frequência (Hz)		
9	11.960	13'	11.693	2.232	0.962
10	15.670	14'	16.113	2.827	0.448
11	16.050	15'	16.330	1.745	0.718
12	17.140	17'	17.182	0.245	0.918
13	19.720	18'	20.974	6.359	0.869
14	20.440	19'	21.389	4.643	0.802

5 Avaliação de Segurança

Após a construção e calibração do modelo numérico elástico linear, foi efectuada a avaliação de segurança da chaminé em Estado Limite Último, face às acções regulamentares: peso próprio, acção do vento [4] e acção sísmica, tipo 1 e tipo 2 [5]. Refira-se que tanto a acção do vento como a acção sísmica foram consideradas segundo as direcções *xx* e *yy*, sendo que no caso da acção sísmica se considerou também a componente vertical. A avaliação de segurança foi efectuada comparando as tensões principais de tracção (σ_{11}) e de compressão (σ_{33}) com os valores de referência adoptados: para a compressão $\sigma_{C,REF} = E_i/700$ e para a tracção $\sigma_{T,REF} = 0{,}10\ \sigma_{C,REF}$. Os valores de referência para zona de características materiais diferentes encontram-se expostos na Tabela 3.

Tabela 3: Valores de referência para as tensões de tracção e compressão de cada zona.

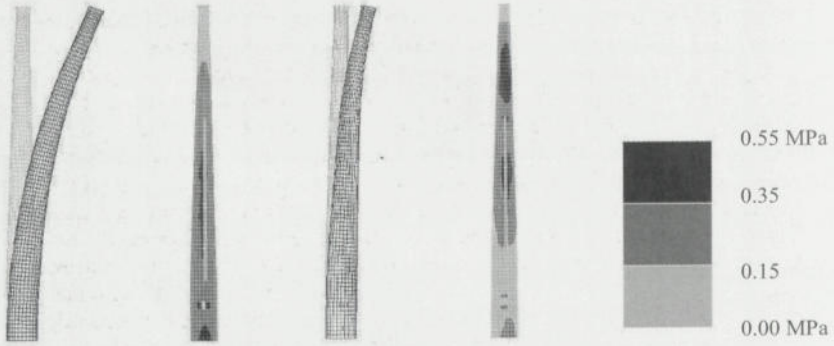
	Material						
	A	B	C	D	E	F	Fissuras
E (GPa)	1.80	1.60	1.80	1.00	1.40	0.60	0.30
$\sigma_{C,REF}$ (MPa)	2.57	2.29	2.57	1.43	2.00	0.86	0.43
$\sigma_{T,REF}$ (MPa)	0.26	0.23	0.26	0.14	0.20	0.09	0.04

Verificou-se que para a acção do peso próprio da estrutura, os valores máximos das tensões principais (σ_{11} = 0,20MPa e σ_{33} = -0,78MPa), localizados na base, não excederam os valores de $\sigma_{C,REF}$ e $\sigma_{T,REF}$.

Já no caso da acção do vento foram atingidos valores de tensões de tracção na base e junto à abertura (Figura 3-a) que ultrapassam os valores de referência nessas zonas ($\sigma_{11,MAX}$ = 0,54MPa). Em contrapartida, os valores das tensões de compressão (σ_{33}) não excederam os limites adoptados. Refira-se que para este caso de carga, foi efectuado um cálculo estático, de acordo com a regulamentação vigente [4], tendo como resultado uma deformada do tipo consola, com maior concentração de esforços na base da chaminé (Figura 3-a).

Em relação à acção sísmica, tipo 1 e tipo 2 [5], refira-se que esta foi considerada através de acelerogramas gerados artificialmente (incluindo a componente vertical), tendo-se efectuado um cálculo dinâmico no domínio do tempo. Verificou-se que as tensões de tracção σ_{11} excedem os valores limite de referência nas zonas do material C e D ($\sigma_{11,MAX}$ = 0,52MPa na zona do material D). A configuração da deformada máxima atingida pela estrutura confirma a localização das zonas de maiores valores de tensões de tracção σ_{11} (Figura 3-b) perto do topo. Relativamente às tensões de compressão σ_{33}, verificou-se que os valores de referência não foram ultrapassados em nenhuma zona da chaminé.

Note-se que apesar de se tratar de um cálculo linear elástico, esta análise dá indicações importantes sobre o comportamento global da estrutura, permitindo determinar a tendência da concentração de tensões. Um cálculo não linear poderá confirmar os resultados obtidos, em particular a influência da fissuração na redistribuição das tensões.



(a) Acção do Vento (b) Acção Sísmica

Figura 3. Resultados da análise estrutural (tensões principais de tracção).

6 Bibliografia

[1] Marques, L. (2007). "Monitorização estática e dinâmica: Aplicações." Mestrado em Engenharia Civil – Materiais e Reabilitação da Construção. Universidade do Minho – Escola de Engenharia.

[2] Magalhães, F. (2005). "Identificação modal estocástica e validação experimental de modelos numéricos de analise dinâmica" Mestrado em Estruturas de Engenharia Civil. FEUP, Porto.

[3] Pinho, J., Duarte, M. (2000). "Reabilitação de uma chaminé" Seminário 2. FEUP, Porto.

[4] RSA (1983). Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes. Dec.-Lei n.º235/83. Imprensa Nacional. Casa da moeda.

[5] EN 1998-1 (2004). Eurocode 8 – Design of structures for Earthquake Resistance Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings.

DIMENSIONAMENTO DE REVESTIMENTOS EM PEDRA NATURAL COM FIXAÇÃO POR CAVILHAS

Soluções em Granito

Maria de Fátima Silva*
mfs@isep.ipp.pt

Rui Camposinhos†
rdc@isep.ipp.pt

Resumo

No revestimento de edifícios com pedra natural os sistemas de fixação e de instalação dos respectivos componentes devem ser projectados e dimensionados de acordo com as capacidades e limitações de cada tipo de pedra e método de fixação, de forma a resistir a todas as acções ao longo do período de vida útil dos edifícios. Os princípios que têm vindo a ser adoptados para o dimensionamento da pedra e das respectivas fixações são, geralmente, empíricos. Os coeficientes de segurança e os deslocamentos que se admitem baseiam-se, geralmente, em métodos ultrapassados que não se revelam adequados às actuais aplicações da pedra natural no revestimento exterior, nem aos modernos procedimentos de dimensionamento. Com base num número relevante de ensaios de arrancamento foi aferido um modelo de dimensionamento para revestimento de placas de pedra natural, utilizando o método de fixação mecânico perno cavilha. Este artigo tem por objectivo divulgar os modelos de rotura associados à fixação de placas de pedra natural, utilizando o sistema perno cavilha.

Palavras-chave: Revestimento, Fixação Mecânica, Sistemas de Ancoragem, Cavilha, Ensaios.

1 Introdução

A fixação de placas de pedra natural por colagem ao longo da superfície de suporte acarreta várias desvantagens, devidas à incompatibilidade por falta de aderência entre o elemento de revestimento e a base de suporte, problemas estes potenciados pelas variações térmicas e higrométricas. Esta situação leva a que os sistemas de fixação mecânicos tenham vindo a ser preferidos em relação aos sistemas de fixação directa. Existem vários tipos de furações que são realizadas em função dos dispositivos metálicos usados Figura 1.

* Mestre em Georrecursos – Departamento de Engenharia Civil (DEC).
† Doutor em Engenharia Civil, Prof. Coordenador ISEP – (DEC).

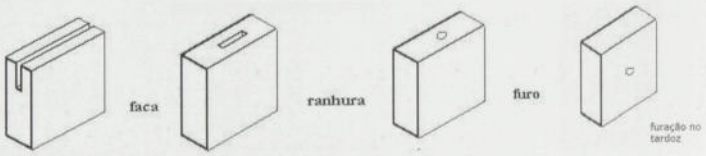


Figura 1: Exemplo de furações ou ranhuras em placas de pedra.

Os sistemas de ancoragem devem garantir a transferência das acções para a estrutura de suporte, sem pôr em causa a resistência das próprias placas de revestimento. Devendo localizar-se de forma a permitir uma distribuição de tensões tão uniforme quanto possível, ao longo do painel, a fim de optimizar a capacidade de carga lateral do próprio painel, devendo ser suficientemente rígidos e simples para resistir às acções a que são sujeitos e por serem instalados de forma a não comprometerem o seu desempenho. Na maioria das aplicações, as propriedades físicas e mecânicas das rochas são decisivas para uma escolha adequada, sendo necessário efectuar ensaios em número suficiente para definir a qualidade e o desempenho da pedra natural [1]. De facto, o tratamento estatístico dos resultados de ensaios em pedra natural revela-se fundamental, interessando conhecer, não só a resistência à flexão bem como a resistência à compressão e o módulo de elasticidade. A densidade, a resistência aos ciclos de gelo e degelo, o coeficiente de dilatação térmica e o envelhecimento em ambientes agressivos são os parâmetros físicos mais relevantes.

2 Sistema de Ancoragem Perno e Cavilha

A Figura 2 identifica as soluções mais correntes para a aplicação de sistemas de ancoragem com cavilha, nomeadamente quando as placas se encontram na posição vertical.

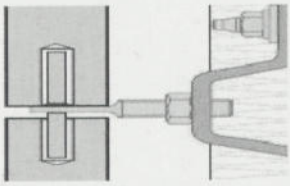


Figura 2: Corte esquemático da fixação por cavilhas em placas na posição vertical.

Nestes sistemas de fixação as placas recebem dois furos por bordo, a uma profundidade adequada, em função da orientação vertical ou horizontal. O peso próprio das pedras solicita os pernos ao corte. A acção do vento solicita as cavilhas ao corte e os pernos à tracção ou compressão. Para evitar estados de sobretensão por falta de alinhamento das furações, as placas apenas se devem apoiar em dois furos por bordo, devido à dificuldade de obter uma furação perfeitamente alinhada [2].

2.1 Caso de Estudo

O trabalho desenvolvido teve por objectivo estudar os modelos de rotura associados à fixação de placas de granito e envolveu duas fases: caracterização mecânica de um granito e do sistema de fixação e calibração dos resultados e modelação do comportamento da ligação. Os ensaios foram realizados de acordo com as normas, quantidades e dimensões dos provetes constantes da Tabela 1. O granito utilizado – "Branco Aguiar" – é um granito de cor cinzenta clara, levemente azulada, homogénea, com granulado fino a médio, de duas micas e muito levemente porfiróide. Os ensaios foram realizados em provetes secos e em provetes saturados, em igual número. Para a caracterização mecânica do granito em estudo, foram realizados ensaios para a determinação da resistência à compressão, de acordo com a NP EN 1926, em 70 provetes no estado seco e no estado saturado – Tabela 2. Os provetes saturados foram imersos em água, durante 48 horas, a uma temperatura de 22 °C. Os provetes não saturados foram secos a 65 °C e arrefecidos até 22 °C. Os resultados dos ensaios são apresentados na Tabela 3. Os valores médios das características físicas mais relevantes que foram determinados são 0,2% para absorção de água, 2647 kg/m3 para a massa volúmica e 0,6 para a porosidade aberta.

Tabela 1: Ensaios, normas, quantidades e dimensões dos provetes de granito.

Ensaio	Norma NP	Qtd.	Dimensões dos provetes (mm)
Resist. compressão	EN 1926	70	Cubos: aresta 50; cilindros: h=Φ = 50
Flexão - carga centrada	EN 12372	50	Prismas: 60 x 120 x 360
Flexão - mom. constante	EN 13161	50	Prismas: 60 x 120 x 360
Arrancamento cavilha	EN 13364	118	Placas quadradas: 200 x 30

Tabela 2: Valores da resistência à compressão do granito [3].

Forma e condições de ensaios	Nº provetes	Tensão de rotura à compressão (MPa)	Δ- Desvio padrão (MPa)
Seco - cúbica	18	202,62	26,06
Saturado - cúbica	18	184,71	16,79
Seco - cilíndrica	17	190,61	14,55
Saturado - cilíndrica	17	175,22	11,62

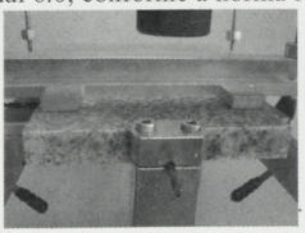
Tabela 3: Valores da resistência à flexão do granito [4, 5].

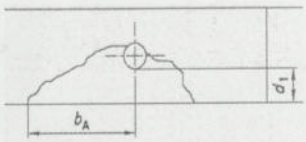
Condições de ensaios	Normas	Nº provetes	Módulo de rotura (MPa)	Δ- Desvio padrão (MPa)
Seco - carga centrada	EN 12372	25	15,68	1,63
Saturado - carga centrada	EN 12372	25	14,66	1,65
Seco - mom. constante	NP EN 13161	25	14,25	1,61
Saturado - mom. constante	NP EN 13161	25	14,21	1,36

2.1.1 Determinação da carga de rotura ao nível do orifício de ancoragem

Para a determinação da carga de rotura ao nível do orifício de ancoragem (ensaio de arrancamento), foram utilizados 118 provetes com acabamentos diferentes em faces opostas (polida e serrada), de acordo com a NP EN 13364.

Os provetes foram fixados entre duas placas de metal do dispositivo de fixação, em 60% do seu comprimento. A carga foi exercida na direcção perpendicular ao eixo da cavilha, numa distância máxima de 2 mm da face menor do provete, por intermédio do dispositivo ilustrado na Figura 3. As cavilhas, em aço inoxidável do tipo 1.4571 [EN 10088-1], com 6.0 mm de diâmetro e 60 mm de comprimento, foram introduzidas em orifícios com 30 mm de profundidade e 10 mm de diâmetro. O espaço entre as cavilhas e as paredes dos orifícios foi selado com uma argamassa de cimento, com a relação W/C, em massa, igual 6.0, conforme a norma NP EN 13364.





Figuras 3 e 4: Fixação do provete e esquema de rotura em alçado.

A carga foi aplicada monotonicamente, à taxa de 50 N/s, até à rotura do provete. Foram medidos os valores da distância entre a parede do orifício e a face na qual ocorreu a fractura (d_1) e a distância máxima entre o centro do orifício e o bordo da fractura (b_A), como se mostra na Figura 4.

2.1.2 Resultado dos ensaios

Os resultados obtidos, para o valor da força de arrancamento, são apresentados na Tabela 4 [7].

Tabela 4: Valores do ensaio de arrancamento do granito "Branco Aguiar" [6].

Referência	Estado e face do provete	Nº de provetes	Valor médio (R_m) (kN)	Coeficiente de variação (%)
A	Seco -serrado	27	2,90	14,25
B	Saturado - serrado	31	2,92	12,07
C	Seco - polido	29	2,70	10,64
D	Saturado - polido	37	2,70	14,02

Tabela 5: Valores do coeficiente de variação, do coeficiente de enviesamento e do valor característico inferior da resistência do sistema estudado [6].

Caso	Estado e face do provete	C. V. (%)	C. Env. (α)	Rk_{inf} (kN)
A	Seco - serrado	9,57	0,2879	2,502
B	Saturado - serrado	17,52	0,5311	2,251
C	Seco - polido	17,33	0,5251	2,092
D	Saturado - polido	23,69	0,7240	1,531

Na Figura 5 compara-se o efeito da saturação e do tipo de acabamento, em termos de valor médio de rotura. De igual modo, na Figura 6 fez-se comparação equivalente, em termos de valor característico, correspondente ao quantilho inferior de 5%. Verifica-se, para este tipo de granito, com baixo teor de absorção que não há perda sensível de resistência quando no estado saturado. No entanto, o acabamento com a face polida tem influência significativa nos valores da força de arrancamento. Em termos médios, verifica-se uma diminuição da força de arrancamento de cerca de 7%. Este efeito é originado pelo aquecimento elevado a que a superfície tratada é sujeita, pois este fragiliza a rocha que tem constituintes com coeficientes de dilatação térmica bastante diferentes.

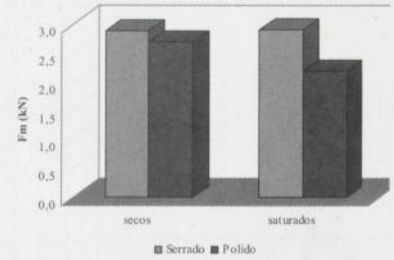


Figura 5: Valores médios da Força de arrancamento.

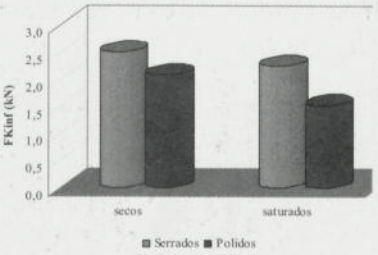


Figura 6: Valores característicos da Força de arrancamento.

2.2 Modelo de Cálculo – Aferição

O modelo de cálculo utilizado para a determinação da força de arrancamento, F_p, do estado limite último de rotura por arrancamento transversal da cavilha ("pull-out"), tem por base a seguinte equação (Camposinhos, R., 2006) [2]:

$$F_p = \frac{1}{2}\left(\frac{\sigma_t(e-\phi\cdot\tan\alpha)}{K\cdot\tan\alpha}\right)\cdot l_p \qquad (1)$$

em que: ϕ – diâmetro da cavilha; e – espessura da pedra; l_p – comprimento de embutimento da cavilha; σ_t – tensão de resistência à tracção da pedra; α– ângulo de destacamento na rotura, medido no bordo da placa de pedra.

O valor de K corresponde ao factor de concentração de tensões, assumindo um contacto rígido entre a cavilha e a placa, que pode ser explicitado a partir da equação (1). A partir de 118 ensaios de arrancamento efectuados, foi possível aferir o valor deste coeficiente, medindo as dimensões das cunhas de destacamento, de acordo com a Norma EN 13364, e determinando o valor médio do ângulo de destacamento das cunhas, que se situou em 32°. Na Figura 7 apresenta-se o valor do coeficiente de concentração de tensões, K, encontrado para os provetes secos com face serrada. O valor médio encontrado para todos os provetes é praticamente o mesmo, sendo aproximadamente igual a 3. Para

furos circulares, o valor teórico deste coeficiente, obtido pela teoria elástica de tensões, é exactamente igual a 3, confirmando que os valores encontrados em laboratório se ajustam à expressão adoptada.

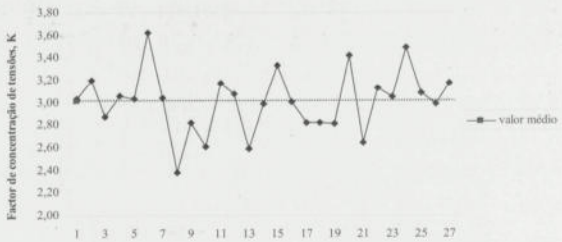


Figura 7: Factor de concentração de tensões em provetes secos de face serrada.

3 Considerações Finais

As práticas tradicionais de corte e de transformação, sem fundamentação técnica que justifique as espessuras e outras dimensões adoptadas para os revestimentos em pedra natural, têm-se mostrado ineficientes e pouco económicas. Por outro lado, a informação fornecida pelos fabricantes dos sistemas de fixação mecânica tem-se limitado à resistência dos dispositivos, independentemente das dimensões das pedras e das suas características. Os ensaios realizados permitiram validar uma formulação com vista ao dimensionamento da força de resistência ao arrancamento da cavilha, em particular, para os granitos com características semelhantes ao "Branco Aguiar", de utilização corrente, evidenciando a necessidade de se estabelecerem regras e modelos de dimensionamento para o projecto e para a aplicação de pedra natural fixada mecanicamente em fachadas de edifícios.

4 Bibliografia

[1] LAMBERTO, V. *Contribuição para a Caracterização da Aptidão Físico-Mecânica dos Mármores de Estremoz*. Rochas & Equipamentos, 2000.

[2] CAMPOSINHOS, R. *Dimension stone cladding design using dowel anchorage, Construction Materials*, Journal, Thomas Telford, ICE, London, 2008.

[3] NP EN 1926. *Determinação da Resistência à Compressão: Documentos impressos*. Instituto Português da Qualidade, 2000.

[4] NP EN 13161. *Determinação da Resistência à Flexão sob Momento Constante*: Documentos impressos. Instituto Português da Qualidade, 2006.

[5] EN 12372. *Determination of Flexural Strength under Concentrated Load*. European Committee for Standardization, 1999.

[6] NP EN 13364. *Determinação da Carga de Rotura ao nível do Orifício de Ancoragem*: Documentos impressos. Instituto Português da Qualidade, 2006.

[7] SILVA, M.F. *Revestimento de fachadas de edifícios em pedra natural fixada mecanicamente*. Dissertação (Mestrado em Georrecursos) – Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2008.

MANTENABILIDADE DE ESTRUTURAS BASEADAS EM INSPEÇÃO: ESTUDO DE CASO

Jairo José de Oliveira Andrade*
jairo.andrade@pucrs.br

Inês Martina Lersch†
martina.lersch@gmail.com

Resumo

Atualmente a questão da mantenabilidade das estruturas vem sendo alvo de inúmeras pesquisas devido à crescente ocorrência de manifestações patológicas nas mesmas. Nesses casos, uma avaliação adequada dos danos encontrados pode fornecer dados importantes para o estabelecimento das atividades de manutenção (preventiva ou corretiva). No presente trabalho será apresentado um estudo de caso realizado em uma estrutura localizada em uma área industrial na região de Porto Alegre/RS. Foram realizadas inspeções na estrutura objetivando determinar as causas dos problemas encontrados, cujos resultados subsidiaram o estabelecimento de graus de deterioração dos elementos avaliados. Com base nesses graus de deterioração, foram sugeridos procedimentos adequados de recuperação, dando ênfase ao estabelecimento de procedimentos de manutenção específicos para os elementos componentes da estrutura.

Palavras-chave: Mantenabilidade, Inspeção, Grau de deterioração.

1 Introdução

De acordo com a NBR 5462 [1], mantenabilidade pode ser definida como a facilidade de um item em ser mantido ou recolocado no estado no qual pode executar suas funções requeridas quando a sua manutenção é executada sob condições determinadas e mediante procedimentos e meios prescritos. Tal conceito é largamente aplicado nas atividades de manutenção de sistemas industriais, visto que paradas para manutenção corretiva de equipamentos geralmente acarretam prejuízos econômicos para a empresa, em maior ou menor grau [2]. A aplicabilidade de tais conceitos na Construção Civil é promissora e necessária, onde verifica-se que o estabelecimento de programas de manuten-

* Prof. Adjunto da Faculdade de Engenharia da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS), Brasil.

† Prof. Assistente da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Brasil.

ção em estruturas civis, principalmente as industriais, é de extrema relevância. Nesse tipo de construção os danos podem atingir graus elevados de degradação, comprometendo o desempenho dos elementos estruturais atingidos e exigindo intervenção imediata, com eventuais paradas em plantas de produção para realização das atividades. Desta forma, o presente trabalho objetiva apresentar uma metodologia de classificação de danos em elementos de fachada baseada em atividades de inspeção, visando fornecer subsídios para a prescrição de atividades de manutenção específicas, de acordo com o nível das manifestações patológicas encontradas.

2 Estudo de caso

2.1 Descrição da Estrutura e Metodologia de Inspeção

A estrutura analisada foi construída por volta de 1972 e localiza-se em uma área industrial. Ao longo do tempo a estrutura do prédio sofreu várias ampliações, tal que 3 sistemas construtivos distintos podem ser atualmente encontrados nos elementos que compõem a fachada:

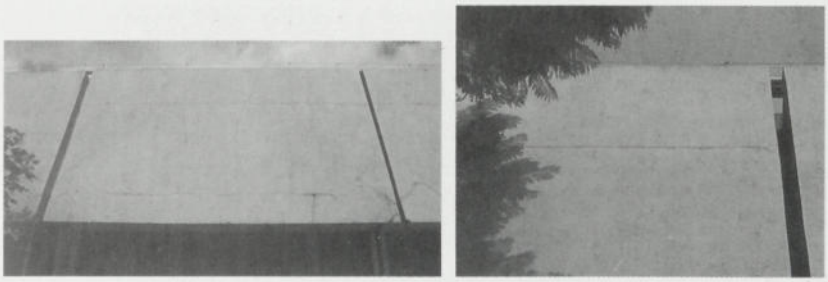
- Sistema S1 – composto por 21 placas de alvenaria de tijolos cerâmicos sustentada na sua parte superior e inferior por vigas de concreto. É o sistema original da estrutura.
- Sistema S2 – formado por 47 elementos pré-fabricados de concreto, inseridos durante uma ampliação que foi realizada no prédio.
- Sistema S3 – composto por painéis de fibrocimento fixados ao prédio através de uma estrutura metálica, oriundo da última ampliação da estrutura. Esse sistema não apresentava problemas patológicos, onde não serão realizados comentários sobre o mesmo no presente trabalho.

Foram feitas vistorias nas fachadas do prédio por meio de inspeções visuais em cada uma das placas pré-moldadas, cujas manifestações patológicas foram registradas para posterior realização das análises. A fim de determinar a causa dos danos encontrados, foram feitos ensaios in loco para verificação da ocorrência do fenômeno de carbonatação sobre os elementos de concreto (sistema S2), bem como de determinação da sua profundidade em pontos específicos das fachadas.

2.2 Principais Manifestações Patológicas Encontradas

2.2.1 Destacamento da Argamassa entre as Vigas Superior e Inferior

Durante as inspeções nas placas do sistema S1 foi constatada a presença de fissuras que evidenciavam uma retração acentuada e localizada na interface entre a alvenaria e a viga de concreto, conforme mostrado na Figura 1.



(a) (b)

Figura 1: Fissuração entre vigas superior e inferior (a); detalhe (b).

Nesta configuração, a viga inferior que apóia a alvenaria deforma-se, gerando fissuras horizontais na base da parede e/ou fissuras na forma de arco, sendo características de paredes sem aberturas. Podem ocorrer também quando a deformação da viga inferior é maior que a deformação da viga superior [3, 4]. A provável causa dessa deformação pode estar relacionada com o fenômeno de fluência do concreto. Embora a carga atuante na viga inferior não seja elevada, o considerável comprimento do vão (6,70 m) de cada uma das vigas faz com que essa pequena deformação seja percebida, principalmente devido à ação do peso próprio do concreto.

2.2.2 Corrosão das Armaduras

Nas placas de concreto (sistema S2) foram observados problemas de fissuração e destacamento do cobrimento devido à corrosão das armaduras, conforme mostrado na Figura 2.

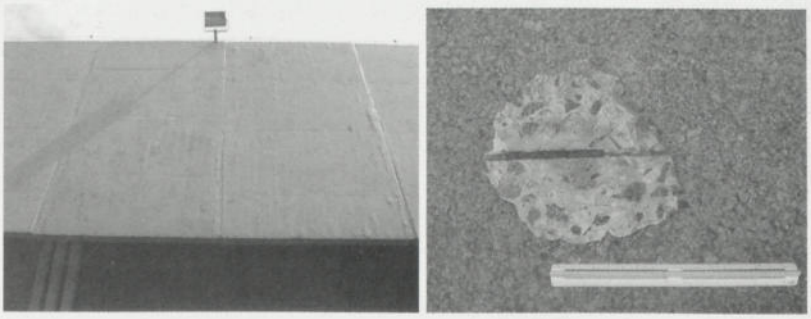


Figura 2: Fissuração do cobrimento nas placas do sistema S2 (a); detalhe de cobrimento de concreto com armadura aderida (b).

A fim de verificar a origem do processo corrosivo nas placas foi feito o ensaio de carbonatação em alguns elementos, conforme mostrado na Figura 3.

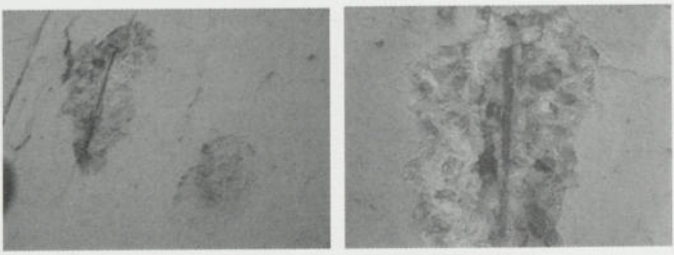


Figura 3: Ensaio de carbonatação em placas do sistema S2.

Verifica-se que o concreto encontrava-se carbonatado, apresentando apenas uma pequena parte que tinha coloração vermelho-carmim típica de um material alcalino, notando-se a ausência de coloração em boa parte do concreto analisado. Essa ocorrência foi verificada em uma boa parte das placas avaliadas, ratificando que o processo corrosivo foi desencadeado pela presença do CO_2 no ambiente.

2.3 Procedimentos de Manutenção Especificados

Devido à existência de muitos pontos na fachada da estrutura que apresentam algum tipo de manifestação patológica, estabeleceu-se um critério para determinar as áreas prioritárias para a realização das atividades de manutenção. Esse critério levou em consideração o grau do dano (G) determinado através das inspeções realizadas, cuja influência na freqüência das atividades de manutenção e nos custos associados está representada na Figura 4.

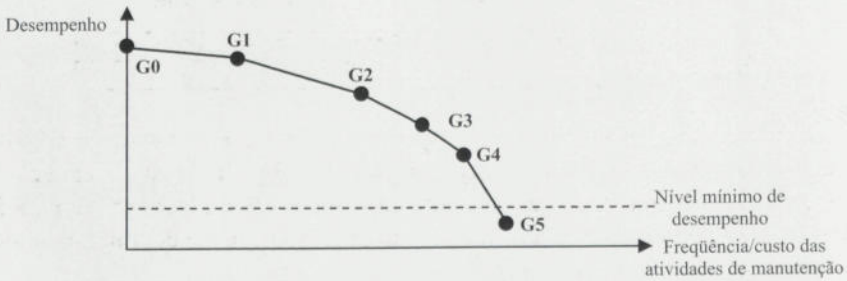


Figura 4: Relação entre os graus de deterioração, desempenho e freqüência de atividades de manutenção

Esse critério foi baseado na quantidade e na extensão dos danos em cada elemento individual, onde os mesmos estão apresentados na Tabela 1 para o sistema S1.

Tabela 1: Graus de deterioração dos elementos do sistema S1.

Grau	Característica do dano	Recomendações para manutenção
G0	- Sem danos visíveis	- Sem necessidade de intervenção imediata
G1	- Fissuração por retração em pequenas extensões	- Realização de uma colmatação das fissuras com uma nata de cimento
G2	- Fissuração por retração com maior intensidade - Fissuras por descolamento da argamassa na interface viga/alvenaria	- Retirada e recomposição do revestimento com colocação de tela metálica entre os tijolos e o reboco
G3	- Fissuração por retração generalizada - Fissuras por descolamento da argamassa na interface viga/alvenaria - Destacamento do revestimento em relação à base	- Retirada e recomposição do revestimento com colocação de tela metálica entre os tijolos e o reboco
G4	- Fissuração por retração generalizada - Fissuras por descolamento da argamassa na interface viga/alvenaria - Corrosão nas armaduras das vigas de sustentação em alguns pontos em placas específicas - Elevada probabilidade de destacamento do revestimento em algum ponto da placa	- Retirada e recomposição do revestimento com colocação de tela metálica entre os tijolos e o reboco. - Recuperação dos pontos corroídos nas figas
G5	- Manifestações similares ao grau G4, mas com intensidade superior. - Lixiviação acentuada do concreto	- Necessidade de recuperação imediata

Sendo assim, a classificação das manifestações patológicas nos elementos componentes do sistema S1 realizada após as inspeções encontra-se apresentada na Tabela 2.

Tabela 2: Graus de deterioração dos elementos do sistema S1.

Placa	P1 a P4	P5	P6 e P7	P8 a P14	P15 a P17	P18 a P21
Grau	G3	G2	G3	G4	G5	G4

Verifica-se que 14 elementos, correspondente a um percentual de 66,67% do total, apresentava um grau de deterioração elevado. Nesse caso, tem-se que o desempenho do sistema como um todo deve ser avaliado, pois em função do tempo em serviço pode-se inferir que a vida útil do mesmo está atingindo valores mínimos de desempenho.

Avaliação similar foi realizada para o sistema S2, cuja distribuição dos danos nas placas encontra-se apresentada na Tabela 3, obedecendo a classificação proposta na Tabela 4.

Tabela 3: Graus de deterioração dos elementos do sistema S2.

Placa	P1	P2 a P6	P7 a P12	P13 a P21	P22 a P24	P25 e P26	P27 a P29	P30
Grau	G0	G2	-	G1	-	G1	G3	G1
Placa	P31 a P33	P35	P36	P37	P38	P39	P40 a P42	P43 a P47
Grau	G3	G2	G3	G1	G2	G1	G2	G3

Tabela 4: Graus de deterioração dos elementos do sistema S2.

Grau	Característica do dano	Recomendações para manutenção
G0	- Sem danos visíveis	- Sem necessidade de intervenção imediata
G1	- Elevada deposição de sujeira - Deficiência no tratamento das juntas entre as placas - Fissuras de retração do concreto	- Limpeza e realização uma manutenção das juntas de dilatação
G2	- Fissuração por retração do concreto na face externa - Destacamento do concreto nos 15 cm inferiores da placa pela formação dos produtos de corrosão	- Retirada do concreto deteriorado e recuperação nas partes afetadas
G3	- Fissuração por retração do concreto na face externa - Destacamento acentuado do concreto pela formação dos produtos de corrosão	- Retirada do concreto deteriorado e recuperação nas partes afetadas - Considerar a possibilidade de trocar as placas

Conforme mostrado na Tabela 3, para o caso do sistema S2 verificou-se que 42,56% das placas encontravam-se dentro dos graus G2 e G3 de degradação, necessitando passar por algum tipo de intervenção (reparo). Além disso, tem-se a possibilidade de troca da metade das placas (21,28%) que apresentavam um grau G3 de degradação. Tais números mostram a importância da realização de inspeções periódicas nos elementos, a fim de evitar que os danos incidentes atingam graus elevados de deterioração.

3 Considerações Finais

Através do estudo de caso apresentado verificou-se a importância do estabelecimento de programas de manutenção adequados para as estruturas civis, a fim de que as mesmas permaneçam com um nível de desempenho adequado durante a sua vida útil. Em tal programa deve-se levar em consideração dois aspectos: o primeiro deles diz respeito à parte técnica, através da realização de vistorias periódicas em elementos considerados críticos. O segundo aspecto está relacionado com a parte gerencial da manutenção, que determina o tipo de manutenção a ser realizada (corretiva, preventiva ou preditiva) e o procedimento operacional a ser adotado para cada caso específico.

4 Bibliografia

[1] Associação Brasileira de Normas Técnicas. *Confiabilidade e Mantenabilidade*. NBR 5462. Rio de Janeiro, 1994. 37p.

[2] Ebeling, C. E. *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. Illinois: Waveland Press, 1997.

[3] Thomaz, E. *Trincas em Edifícios: Causas, Prevenção e Recuperação*. PINI, São Paulo, 1988.

[4] Duarte, R. B. *Fissuras em alvenarias: causas principais, medidas preventivas e técnicas de recuperação*. CIENTEC, Boletim Técnico 25. Porto Alegre, 1998.



SESSÃO XXX

ESTRATÉGIA E INCENTIVOS / CUSTOS

REABILITAÇÃO TÉRMICA NO SECTOR RESIDENCIAL

Estratégias e Medidas

Carlos Pina dos Santos*
pina.santos@lnec.pt

Rodrigo Rodrigues†
rrodrigues@lnec.pt

António Vilhena‡
avilhena@lnec.pt

Resumo

O consumo de energia registou um aumento sensível no sector dos edifícios de serviços, e só o contexto de arrefecimento económico evitou que o mesmo se verificasse no sector residencial. A conjuntura económica mais vasta irá, tudo o indica, continuar a contribuir para a limitação do aumento dos consumos neste sector.

As estratégias a adoptar para a efectivação de uma reabilitação energética, técnica, económica, ambiental e socialmente adequada, passam por uma reflexão responsável sobre as oportunidades, os meios, os incentivos e a legislação a implementar, que não pode ignorar as principais barreiras e insuficiências existentes, nomeadamente a capacidade e vontade de actuação.

Na presente comunicação pretende apresentar-se um panorama das estratégias de reabilitação actualmente correntes bem como equacionar medidas alternativas adequadas de reabilitação.

Palavras-chave: Edifícios, Reabilitação energética, Estratégias, Medidas.

1 Introdução

A reabilitação urbana e a reabilitação térmica e energética dos edifícios, em particular, tornaram-se nos últimos anos o foco da atenção de diversos sectores públicos e privados. Se a intenção de cumprir os acordos do protocolo de Quioto não conseguiu mobilizar a atenção de muitos dos interessados, a publi-

* Investigador Principal. Lab. Nacional de Engenharia Civil, Dep. de Edifícios.
† Bolseiro de Investigação. Lab. Nacional de Engenharia Civil, Dep. de Edifícios.
‡ Assistente de Investigação. Lab. Nacional de Engenharia Civil, Dep. de Edifícios.

cação da nova regulamentação térmica dos edifícios (RCCTE) [1] e, sobretudo, a progressiva entrada em vigor do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE) [2] está a consegui-lo. Está previsto que o SCE passe a ser aplicado aos edifícios existentes a partir de 2009 [3].

No âmbito do protocolo de Quioto Portugal comprometeu-se, até 2012, a não exceder 27% das emissões de CO2 registadas em 1990. Até à data o País afastou-se dessa meta, em grande medida devido ao crescimento verificado nos sectores dos transportes e nos sectores doméstico e de serviços. Por esse motivo o governo aprovou uma estratégia que inclui diversas medidas adicionais visando o cumprimento do compromisso assumido, nomeadamente, medidas contemplando a reabilitação energética de edifícios existentes.

É necessária uma reflexão sobre as medidas de implementação prioritária, sobre a melhor forma de proceder à sua divulgação e aplicação, e sobre os impactes que terão nos objectivos energéticos, económicos e sociais definidos.

2 A realidade construtiva, social, económica e energética

A definição de estratégias e de metodologias de reabilitação térmica e energética dos edifícios residenciais tem de partir do conhecimento detalhado das características do universo a intervir. O INE, a DGEG e outras fontes têm vindo a colmatar a tradicional falta de informação actualizada e detalhada sobre as realidades social, económica, energética e construtiva do parque edificado. Porém, se no que diz respeito aos edifícios novos a informação mais relevante começa a estar disponível (*Ficha da Habitação*, *certificados energéticos* emitidos no âmbito do SCE) e pode ser objecto de análise e de tratamento, muitos dos dados publicados referentes aos edifícios existentes foram obtidos por técnicos com formação em outras áreas, o que os torna por vezes incompletos ou de utilização difícil para o fim em vista.

Em 2007 o parque habitacional português foi estimado em 3,4 milhões de edifícios e 5,6 milhões de fogos. Após um surto de crescimento acentuado, desde o ano de 2000 que se assiste a um decréscimo da construção nova, com uma redução de 8,2% do valor médio anual de fogos construídos [4]. Em paralelo registou-se uma tendência para o aumento de intervenções de reabilitação de edifícios existentes [5] embora se mantenha a níveis relativamente modestos (cerca de 17,4% no sector residencial [5]) e com um dinamismo limitado. Os edifícios de habitação continuam a representar a percentagem mais significativa, quer das novas construções quer das alterações e renovações.

A maior percentagem de edifícios ainda é de habitação unifamiliar. Em 2006 mais de 60% dos agregados familiares em Portugal residiam em moradias (40,6% em moradias isoladas e 21,8% em moradias geminadas ou em banda) [5]. Como seria de prever, é nas áreas urbanas que se regista uma percentagem maior de famílias a viver em apartamentos (edifícios multifamiliares). No que

diz respeito ao regime de propriedade das habitações em Portugal, de acordo com dados disponíveis, mais de 75% das habitações são ocupadas pelo respectivo proprietário. O mercado de arrendamento representará mais de 17% dos fogos habitados [6] e [7] sendo bem conhecidas as características e limitações deste segmento.

Existem motivações diversificadas para justificar o interesse e a dinamização da reabilitação do património edificado. Por um lado, só o facto de se estimar que seja da ordem de 800.000 o número de fogos a necessitar de médias, grandes, ou muito grandes reparações [5] é uma boa razão para a implementação de medidas concretas e eficazes que permitam alterar este panorama. Por outro lado, a constante ocorrência de situações anómalas devidas à inadequada qualidade térmica da envolvente dos edifícios tem reflexos na qualidade de vida dos ocupantes, em termos de conforto ou mesmo de saúde. Como exemplos dessas ocorrências poder-se-ão citar: condensações superficiais ou intersticiais; temperaturas ambientes ou radiantes excessivas (quer no Verão quer no Inverno); ventilação excessiva ou insuficiente; ausência ou ineficácia das soluções de protecção solar dos vãos envidraçados; área excessiva destes vãos. Paralelamente a estas anomalias, continuam a registar-se, mesmo em edifícios recentes, situações mais ou menos graves de patologia nos elementos da envolvente, as quais obrigam à realização de intervenções precoces de reparação. Será, ainda, oportuno relembrar que mais de 70% do parque residencial é anterior a 1990, data da publicação do primeiro RCCTE, e que 12% dos edifícios têm mais de 60 anos.

Em termos sociais e económicos convém referir que a estrutura *familiar* tem registado alterações sensíveis nos últimos anos. O número de *famílias* com um elemento, famílias monoparentais ou famílias com filhos dependentes será da ordem de 45% [7] e [8] . Apesar da melhoria das condições económicas registada nas últimas décadas, o rendimento líquido médio mensal dos agregados familiares deverá ser inferior a 2000 € (1845 € segundo dados de 2005/2006 [7]. Também não se pode ignorar que a taxa de risco de pobreza dos rendimentos totais por *adulto equivalente* (indicador que considera a dimensão e a composição dos diferentes agregados familiares) era, em 2005, de 16% [6].

De acordo com os dados disponíveis [6] a utilização de *aparelhos de aquecimento* está relativamente disseminada (cerca de 65% das famílias), registando-se um aumento de sistemas de aquecimento central entre 2001 e 2005/2006 (de 3,8% para 8,5% dos fogos). Os equipamentos de ar condicionado, sem expressão no sector residencial há uma década, já se encontram em cerca de 7% dos alojamentos. A adopção de soluções construtivas que conduzem (ontem como hoje) à ocorrência de situações (graves) de desconforto de Verão, a vulgarização da oferta de equipamentos a custos acessíveis e outros factores [9] continuarão a promover a procura destes equipamentos, com os consequentes consumos energéticos, muitas vezes desnecessários.

Em termos energéticos (dados da DGEG), em 2005 Portugal dependia em mais de 87% da importação de fontes de energia primária (petróleo, gás natural), estando a decorrer um ambicioso programa de promoção do recurso a fontes de energia renovável (solar térmico, eólicas, fotovoltaico, biomassa, hídrica). O consumo de energia no sector doméstico cresceu nas últimas décadas tendo sido responsável, em 2005, por 16,5% do consumo de energia final. O arrefecimento económico traduziu-se por uma redução verificada a partir de 2005. O aumento do consumo de energia eléctrica está associado, não apenas à utilização mais frequente de equipamentos de aquecimento (e de arrefecimento), mas também, em grande medida, a outros consumos específicos (grandes e pequenos equipamentos domésticos, iluminação, equipamento informático) não abrangidos pela regulamentação térmica. Apesar da conjuntura económica pouco favorável, o facto de Portugal ser ainda um dos estados-membros da União Europeia com menor consumo de electricidade *per capita* faz antever uma evolução potencial cuja dimensão e impacte irão depender de expectativas, atitudes e comportamentos dos utentes, e de acções desenvolvidas no sentido de assegurar uma maior equidade social. Há que considerar, face aos indicadores acima referidos, que as situações *de precariedade energética* devem afectar uma percentagem não despicienda dos agregados familiares.

3 Regulamentar, apoiar e incentivar

O rendimento médio disponível (*vd.* 2) e as prioridades definidas levam a que, em 2001 [7], a despesa média das famílias em obras de manutenção e de conservação das respectivas habitações representasse apenas 0,2 % das despesas totais do agregado familiar. Há que reconhecer que uma boa parte dos agregados familiares reduzidos ou numerosos (*vd.* 2) e, sobretudo, os do grupo etário mais idoso não têm meios para efectuar as reparações ou as melhorias recomendadas ou necessárias. A falta de informação, ou o desinteresse, são com frequência os principais motivos de inacção para actuar, mesmo nos agregados familiares com maior disponibilidade económica.

O RCCTE impõe que os edifícios sujeitos a *grandes obras de reabilitação* [1] têm de cumprir os requisitos em vigor. ***Todavia, ao contrário do que já é discutido em outros países, não se considera que existam condições (vd. 2) para impor, quer o cumprimento de requisitos regulamentares a todos os edifícios reabilitados, quer a reabilitação obrigatória do parque edificado.***

De acordo com o Despacho n.º 10250/2008 [10] emitido pela ADENE (Agência para a Energia), a classe energética das *fracções* residenciais (função da quociente entre as necessidades anuais globais estimadas de energia primária para climatização e águas quentes, *Ntc*, e o correspondente valor limite regulamentar, *Nt* [1]), depende fortemente das características dos equipamentos utilizados (ou admitidos por defeito) para o aquecimento e a refrigeração

ambientes, e para a preparação de águas quentes sanitárias. Quer se trate de edifícios novos, quer de existentes, a estratégia mais fácil para a obtenção de uma melhor classe energética passa pela instalação efectiva de equipamentos com desempenhos energéticos nominais elevados, em detrimento de medidas passivas incidindo sobre a concepção ou a qualidade térmica da envolvente. Se, por um lado, a obtenção de condições satisfatórias de conforto não corresponde, necessariamente, a assegurar em permanência os valores convencionais de Inverno e de Verão indicados no RCCTE [1], por outro lado, em muitos casos os meios mecânicos de climatização poderiam ser dispensados. Estes equipamentos, por mais eficientes que sejam, favorecem consumos de energia e impactes ambientais contrários aos objectivos pretendidos. ***A promoção de soluções e medidas passivas, em detrimento das soluções activas, deverá ser, pois, uma prioridade num horizonte quer imediato quer futuro.***

Como já foi referido, o *certificado energético* dos edifícios existentes (e também dos *novos*) inclui a indicação de *medidas de melhoria* do respectivo desempenho energético (embora a correspondente implementação não seja obrigatória). Todavia, é frequente verificar que se recomendam *medidas de melhoria* estereotipadas e desajustadas, quer por facilitismo (via mais rápida para a *melhor* classificação), quer por falta de conhecimentos técnico-económicos, factos que contrariam o espírito do SCE (*proporcionar informação sobre as medidas, com viabilidade económica, que o proprietário pode implementar para reduzir as suas despesas energéticas e melhorar a eficiência energética do edifício*). ***A formação adequada e competente, suportada por uma base técnica e economicamente robusta e independente, constitui um requisito indispensável à credibilidade, eficácia e benefícios pretendidos.***

No sector residencial de arrendamento as medidas que visam incentivar, quer a colocação no mercado de fogos devolutos, quer as operações de manutenção, de reparação ou de reabilitação, não valorizam, explicitamente, as componentes térmica e energética, não constituindo de momento um factor dinamizador neste domínio. De qualquer modo, são reconhecidas as dificuldades encontradas na concretização dos objectivos principais daquelas medidas.

A Resolução do Conselho de Ministros n.º 80/2008 [11] aprova o *Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética (Portugal Eficiência 2015)* que descreve as políticas e medidas de eficiência energética a promover. Entre as medidas aplicáveis aos sectores residencial e de serviços, o Programa ***Renove Casa e Escritório*** prevê três medidas: ***Janela Eficiente,*** que visa, quer a utilização de vidro duplo, quer o recurso a caixilhos com corte térmico, quer a adopção de vidros de baixa emissividade; ***Isolamento Eficiente,*** que visa a aplicação de isolamentos térmicos em coberturas, pavimentos e *principalmente* paredes; a medida ***Calor Verde***, orientada para a promoção de recuperadores de calor (*a biomassa*) e para a criação incentivos ao uso de equipamentos de

climatização "bombas de calor" com COP ≥ 4. As formas de financiamento ou de incentivos para as medidas referidas ainda não estão inteiramente definidas.

Independentemente de as medidas propostas poderem ser discutíveis (dos pontos de vista técnico, social, ambiental e económico), a sua utilização sem critério (não tendo em consideração a especificidade nem das soluções construtivas nem dos edifícios e espaços existentes) pode conduzir a resultados insatisfatórios, não contribuindo para os resultados pretendidos, e acabando mesmo por promover o agravamento dos consumos energéticos actuais.

4 Nota final

Identificadas as principais oportunidades e barreiras à efectiva implementação de medidas de reabilitação térmica e energética dos edifícios residenciais, há que definir estratégias adequadas e realistas, que permitam limitar o previsível crescimento dos consumos, reduzir as situações anómalas e aumentar o conforto e bem estar da população.

5 Bibliografia

[1] *Decreto de Lei n.º 80/2006*. Diário da República: I SÉRIE-A, n.º 67, p. 2468-2513 (2006-04-04). [RCCTE].

[2] *Decreto de Lei n.º 78/2006*. Diário da República: I SÉRIE-A, n.º 67, p. 2411-2415 (2006-04-04). [Sistema de Certificação Energética - SCE].

[3] *Portaria 461/2007*. Diário da República II SÉRIE, n.º 108, p. 15378 (2007-06-05). [Calendarização da aplicação do SCE].

[4] Instituto Nacional de Estatística, I.P. (INE) *Anuário Estatístico de Portugal 2006*. Lisboa: INE, 2007.

[5] INE *Estatísticas da Construção e Habitação 2007*. Lisboa: INE, 2008.

[6] INE *Inquérito às Despesas das Famílias 2005-2006*. Lisboa: INE, 2007.

[7] BOVERKET *Housing Statistics in the European Union 2004*. Karlskrona: BOVERKET, 2005.

[8] Eurostat - European Commission (EC) *Living conditions in Europe Data 2002-2005*. Luxembourg: Office for Official Publications of the EC, 2007.

[9] MATIAS L., et al. *Conforto térmico em edifícios e sustentabilidade*. Congresso Internacional de *Inovação na Construção Sustentável (CINCOS'08)*. pp. 427-439. Curia, 23-25 Outubro 2008.

[10] *Despacho n.º 10250/2008*. Diário da República: II SÉRIE, n.º 69, p. 15550-15556 (2008-04-08). [Modelo dos Certificados de Desempenho Energético e da Qualidade do Ar Interior Emitidos no âmbito do SCE].

[11] *Resolução do Conselho de Ministros n.º 80/2008*. Diário da República: I SÉRIE, n.º 95, p. 2687-2695 (2008-05-16).

GANHOS DE PERFORMANCE COM A GESTÃO DE QSMS EM OBRAS DE RETROFIT

Jorge dos Santos*
jorgesantos@poli.ufrj.br

Ana Catarina Jorge Evangelista†
anacatarina@poli.ufrj.br

Resumo

A reciclagem de materiais vem cada vez mais sendo utilizada pela indústria de transformação. Trata-se de uma atitude em resposta as crescentes cobranças que a sociedade vem impondo ao mercado produtor.

Na indústria da construção essa demanda é ainda mais intensa em decorrência dos grandes volumes consumidos de matérias primas para a execução de novas construções, da geração de resíduos durante o processo construtivo e finalmente da geração de resíduos no encerramento da vida útil da edificação.

Neste aspecto a adopção do retrofit em edificações como forma de adequá-las a novos usos e com isso prolongar sua vida útil vem crescendo consideravelmente no mercado da construção civil.

A execução do retrofit em edificações requer a utilização de equipes especializadas, adequadamente treinadas e técnicas construtivas modernas com ênfase para o maior aproveitamento possível dos materiais já disponibilizados na edificação objecto do retrofit. Nesse sentido esse trabalho apresenta a aplicação da metodologia de gestão integrada da qualidade, segurança, meio ambiente e saúde em obras de retrofit de edificações como uma ferramenta para a obtenção de ganhos na performance na reciclagem do uso de edificações.

Palavras-chave: Sistema de Gestão Integrada, QSMS, Retrofit.

1 Introdução

O uso de boas práticas construtivas abrangendo acções no campo da qualidade, segurança, meio ambiente e saúde (QSMS) no trabalho vem sendo adoptado por mais e mais empresas construtoras ao redor do mundo. No Brasil, o

* Prof. Adjunto, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ – Escola Politécnica – Rio de Janeiro - Brasil.

† Profa. Adjunta, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ – Escola Politécnica – Rio de Janeiro - Brasil.

movimento de empresas preocupadas em implantar em suas actividades a filosofia de gestão de QSMS[‡] é cada vez mais frequente. Dessa forma, já é comum em obras de construção de novas edificações interagir com empresas construtoras com sistemas de gestão de QSMS implantados e certificados. Nos últimos cinco anos é crescente o número de obras de retrofit realizadas em edificações verticais e horizontais, tombadas[§] ou não. O retrofit vem sendo aplicado em antigas edificações, construídas a 30 ou mais anos. A necessidade do retrofit surge decorrência da necessidade de restaurar parte ou em todo uma edificação deteriorada por desgaste físico espontâneo, mal uso ou ausência de conservação. O retrofit é uma actividade que vai ao encontro da necessidade de economizar os recursos naturais consumidos por novas construções e reciclar o uso de edificações antigas evitando a geração de resíduos que via de regra são pouco ou nada reutilizados por meio de reciclagens.

A gestão de QSMS como ferramenta de melhoria contínua nos processos produtivos representa um excelente meio de mobilização para a aplicação do retrofit nas edificações comerciais e residenciais.

2 Retrofit - Contextualização

O retrofit surgiu na Europa como alternativa para adequação das edificações às novas necessidades da sociedade frente a evolução da tecnologia e dos novos padrões de conforto e qualidade de vida requeridos e disponíveis no mercado.

A NBR 15575 [1] define retrofit como sendo a "remodelação ou atualização do edifício ou de subsistemas, através da incorporação de novas tecnologias e conceitos, normalmente visando valorização do imóvel, mudança de uso, aumento da vida útil e eficiência operacional e energética".

Do ponto de vista da indústria da construção os processos e técnicas construtivas são teoricamente os mesmos. Dessa forma, ocorrem nas obras de retrofit os mesmos problemas que correntemente também são observados nos demais tipos de obra. No Brasil a indústria da construção apresenta algumas peculiaridades que lhe confere indicadores adversos quando avaliados aspectos como qualidade, produtividade, acidentes de trabalho e geração de impactos ambientais. Conforme Cardoso et al. [2], a ocorrência na indústria da construção de problemas de qualidade de produtos intermediários e finais da cadeia produtiva e os elevados custos de correcções e manutenção pós-entrega são decorrentes dentre outros, do desestímulo por parte das construtoras de utiliza-

[‡] Gestão de QSMS – Sistema de gestão integrado abrangendo as disciplinas qualidade, segurança, meio ambiente e saúde no trabalho.

[§] Tombamento – Preservação do patrimônio cutural e artístico brasileiro instituído pelo Iphan - Instituto de Patrimônio Histórico Artístico Nacional.

rem mais intensamente componentes industrializados no canteiro de obras face à incidência de impostos e consequentemente encarecimento das obras. Dessa forma, a componente artesanal no processo construtivo é ainda predominante. Por outro lado, Santos [3], diz que a mão-de-obra influencia o ciclo produtivo da indústria da construção em decorrência da sua baixa qualificação. Via de regra o pessoal egresso das entre safras das actividades agrícolas, portanto sem qualquer qualificação, ocupam as vagas de operários para atender a demanda de pessoal na indústria da construção nos grandes centros do Brasil. Ainda Santos [3] em estudo realizado no mercado do Estado do Rio de Janeiro para a identificação da origem das falhas na indústria da construção (Tabela 1), concluiu que apesar das falhas em projecto, a exemplo da Europa, serem a maior causa, as falhas de execução e de materiais representam 42,4%. Neste contexto, pode-se entender as causas da indústria da construção amargar muitas vezes indicadores desfavoráveis no âmbito de QSMS. Basicamente a problematica está correlacionada ao alto grau artesanal da mão-de-obra; a baixa qualificação da mão-de-obra e a baixa qualificação de empreiteiros utilizados na terciarização das actividades.

Tabela 1: Origem de Falhas na Ind. da Constr. no Estado do Rio de Janeiro [3].

Causas das Falhas	Média dos Resultados Obtidos
Falhas de projetos	46,3
Falhas de execução	25,4
Falhas por materiais	17,0
Falhas por uso	11,3

Estas características aliada a peculiaridade quase singular da indústria da construção de que cada obra é uma obra diferente, independentemente de ser o mesmo projecto, serem utilizados os mesmos materiais, equipamentos, mão-de-obra, etc. Sempre vão existir condicionantes do terreno, do clima ou outros que forçarão soluções diferentes, específicas para cada empreendimento. Quando o objecto é o retrofit a singularidade se faz mais presente ainda. Cada obra de retrofit precisa ter um tratamento específico para que às suas peculiaridades executivas sejam respeitadas.

3 QSMS - Contextualização

A gestão da qualidade, segurança do meio ambiente e da saúde no trabalho vem cada vez mais sendo adoptada por empresas no segmento da construção de edificações, seja por motivação própria na expectativa da melhoria e racionalização de seus processos ou para atender a exigências de clientes que estabelecem como regra para contratação a existência de sistema de gestão de

BIBLIOTECA F.E. PORTO

QSMS. Há ainda o aspecto marketing, uma vez que o mercado consumidor cada vez mais esclarecido passa a exigir valores relacionados a QSMS antes não considerados. Esses novos paradigmas vêm impulsionando as construtoras a implantarem sistemas de gestão e a buscarem certificações que respaldem suas práticas como boas práticas de QSMS.

4 Gestão de QSMS Aplicada em Obras de Retrofit

4.1 Estudo de Caso – A Obra

A obra de retrofit foi realizada em edificação com mais de 30 anos de existência na cidade do Rio de Janeiro. Deixa-se de citar a edificação, o local e o dono da obra tendo em vista a não obtenção da autorização para essa vinculação. Para que seja possível vislumbrar a tipologia da obra, apresenta-se a seguir um descritivo de características básicas da mesma. Trata-se de um prédio em concreto armado aparente, composto por 2 subsolos, Térreo e 26 pavimentos, onde, a partir do 3º e até o 22º sucedem-se conjuntos de pavimentos tipos, ora em forma de "+", ora em forma de "H", ora em forma de "I". A forma do prédio, em planta, é quadrada, com 75m de lado, compondo-se de 9 grandes módulos quadrados de 25m de lado. O módulo central é composto em sua periferia por 22 elevadores sociais, sendo o seu interior dotado de 2 elevadores de serviço, duas escadas, sanitários e área de serviço. O pavimento tipo tem forma de "I" e é formado por duas alas, destinadas a escritórios, com 1.875 m² cada.

Os serviços desenvolvidos pela construtora foram às reformas de um pavimento tipo do edifício para servir de referência para os demais pavimentos, compreendendo a demolição e remoção de todas as instalações daquele pavimento e construção de novas instalações, bem como serviços em outros pavimentos do prédio que se fizeram necessários ao funcionamento do dos sistemas nele instalados. A reforma envolveu desde o detalhamento dos projectos, reforço estrutural até a execução de instalações especiais como a ventilação e ar condicionado em sistema de teto radiante[**].

4.2 Estudo de Caso – O Sistema de QSMS Implantado

A construtora contou para a execução dos projectos e da obra com uma equipe multidisciplinar. A integração da estrutura organizacional da obra com a estrutura da construtora em seu escritório central foi garantida pela acção do

[**] Sistema de teto radiante - Emprega painéis instalados no teto, formados por placas de forro metálico perfurado, nas quais são acopladas serpentinas de água gelada que irradiam o frio para o ambiente.

director de obras juntamente ao gestor da obra e demais membros da equipe alocada à obra. Foram realizadas reuniões quinzenais de coordenação, das quais participaram o director, o gestor da obra, os coordenadores das áreas de planejamento, projecto e produção, e os coordenadores de QSMS e de administração. Foi designado na obra o Comitê da QSMS formado pelo director, gestor da obra e demais coordenadores para dar suporte ao desenvolvimento e implantação do Sistema de Gestão de QSMS na obra. A metodologia utilizada foi a proposta por Santos [3] da qual destacam-se as seguintes etapas básicas:

a) Mapeamento dos processos críticos necessários para a obra de retrofit;

b) Definição da estrutura de documentação do Sistema de Gestão e da estrutura organizacional e das competências requeridas;

c) Definição dos processos relacionados as partes interessadas;

d) Definição de processos operacionais;

e) Definição de objetivos, metas e indicadores de QSMS;

f) Programa de treinamento e avaliação da eficácia;

g) Monitoramento e medição dos processos e dos indicadores;

h) Análise de dados e definição de melhoria contínua.

4.3 Estudo de Caso – Ganhos de Performance

A implantação do Sistema de Gestão de QSMS na obra trouxe como principal colaboração a sensibilização da equipe de trabalho da construtora e de suas empreiteiras para as especificidades de um retrofit. O homem somente se motiva a executar algo quando ele efectivamente entende o seu significado, ou seja: por que tenho que fazer isto desta forma? Esta prerrogativa permitiu a prática do pensamento preventivo, antecipando-se a possíveis problemas que pudessem ocorrer na obra.

A acção do Sistema de Gestão de QSMS no controle e coordenação do projecto permitiu que as dificuldades surgidas na obra por ausência de detalhes ou situações diferentes daquelas presumidas no campo, pudessem ser rapidamente resolvidas gerando o menor impacto possível no andamento da obra. Essa interacção do projecto com o andamento da obra permitiu a elaboração dos as built ao longo da obra evitando a perda de memória da obra.

Houve consideráveis ganhos de performance principalmente na minimização do impacto da obra aos demais pavimentos do prédio que encontravam-se em plena operação. Essa peculiaridade requereu o planejamento de logística que incluiu todo o acesso e movimentação de pessoal e carga pela parte externa do prédio e o armazenamento e remanejamento de resíduos gerados pelas

demolições em virtude da indisponibilidade de espaços. Requereu também o tratamento especial nas obras de interface com os demais andares, uma vez que estas eram fundamentais para fazer as interligações de instalações, para não gerar interrupções nos serviços de abastecimento do prédio e descontinuidades no processo de trabalho. Outro ganho foi na questão da minimização do ruído mediante o emprego de revestimentos e abafadores, permitindo o trabalho em ritmo acelerado mesmo durante o funcionamento do prédio. A sistemática de monitoramento e inspecção dos processos operacionais, permitiu, independentemente da criticidade dos mesmos promover a performance na quantidade e qualidade requeridas.

5 Conclusão

A construtora e a equipe de trabalho efectivamente precisam ter experiência em obras de retrofit para que as obras sejam programadas e aconteçam obedecendo as boas práticas construtivas e sejam alcaçados os resultados esperados. As acções de treinamento em QSMS na obra precisam ser intensas e versarem sobre os procedimentos executivo de serviço, mas também sobre a postura e a atenção aos detalhes neste tipo de obra. Em obras de retrofit não cabe improvisação pois o novo construído tem via de regra a limitação do espaço, da arquitectura, das fachadas e da estrutura. A prática do retrofit alinhada com a do Sistema de Gestão de QSMS produz o renascimento de obras consideradas obsoletas, promovendo o aumento da vida útil da edificação e redução da geração de resíduos e do consumo de novos recursos.

6 Bibliografia

[1] NBR15575 - *Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho.* Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

[2] CARDOSO, Luiz R. de A., ABIKO, Alex K. e GONÇALVES, Orestes M. F. *Estudo prospectivo da cadeia produtiva da construção civil no Brasil: produção e comercialização de unidades habitacionais*, Anais do IX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – ENTAC, Foz do Iguaçu, 2002.

[3] SANTOS, Jorge. *Metodologia de gestão integrada aplicada à indústria da construção civil: segmento habitacional.* Tese de Doutorado, Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2005.

DESVIOS E QUALIDADES DA INTERVENÇÃO NO EDIFICADO DO CENTRO HISTÓRICO DO PORTO

Manutenção da Autenticidade

José Resende*
albertodias@cm-porto.pt

Francisco Sousa Rio†
franciscorio@cm-porto.pt

Resumo

Apresenta-se um projecto de avaliação de resultados relacionado com as intervenções nos imóveis que compõem o Centro Histórico da Cidade do Porto, passando pela intervenção recente no espaço público, e com especial destaque para os materiais que compõem a face visível da cidade.

Este trabalho visa analisar a tipologia das alterações efectuadas, no sentido de se obter um panorama, tão real quanto possível, sobre a respectiva qualidade ao longo dos últimos anos, desde que em 1996, o Centro Histórico do Porto foi inscrito na lista do Património da Humanidade pela UNESCO. O trabalho de campo decorreu entre Junho e Novembro de 2007, tendo-se estabelecido alguns locais como pontos de interesse para uma monitorização das alterações.

Como base para esta análise foram usados projectos de licenciamento de obras particulares que foram submetidos à apreciação da Câmara Municipal do Porto. Foram também visitados alguns imóveis recuperados por outras entidades ou programas de apoio, tais como o CRUARB e o RECRIA.

Apontam-se ainda razões para a degradação actual e recomenda-se uma estratégia geral para a recuperação do Centro Histórico, esboçando uma relação dos critérios a levar em conta nas intervenções arquitectónicas, de modo a não afectar o valor patrimonial dos edifícios.

Destaca-se a necessidade de uma actuação permanente na conservação dos vários componentes do edifício e na preservação da autenticidade dos materiais.

Palavras-chave: Porto, Centro Histórico, Património da Humanidade, Autenticidade, Identidade, Diversidade, Conservação, Revestimentos, Caixilharias.

* Técnico superior arquitecto assessor principal da Câmara Municipal do Porto.
† Técnico superior arquitecto principal da Câmara Municipal do Porto.

1 Desvios e Qualidades

A intenção de recuperar a vida perdida dos centros históricos ganhou amplitude a partir dos anos sessenta, à medida que foi sendo conhecida a realidade com que estas áreas históricas se deparavam: tercearização, desertificação, degradação e mais recentemente, droga e vandalismo.

Dois factores, acima de tudo, contribuíram para a presente situação:

— O congelamento das rendas dos imóveis das cidades de Lisboa e do Porto em 1948, que originou uma progressiva desactualização dos seus valores. Esta situação gradualmente retirou aos proprietários o incentivo para investir na conservação do seu património, entrando-se num ciclo de crescente degradação;

— O imobilismo fundiário, situação propiciada pelas heranças indivisas e pela desactualização dos valores das matrizes e consequente baixa tributação do património imobiliário. Com efeito, os centros urbanos estão cheios de casas devolutas porque os seus proprietários julgam ter ali um valor eterno. Neste sentido, a dinamização de estratégias de publicidade ao centro da cidade, apenas contribui para sobrevalorizar ainda mais os imóveis.

Mas outros motivos se podem acrescentar, como a dependência do automóvel[‡], a degradação do ambiente das zonas históricas e a falta de condições de salubridade nalguns cascos mais densos.

Do trabalho de avaliação das intervenções, realizado nas ruas do Centro Histórico do Porto, ressalta a percepção de uma multiplicação de alterações exteriores que têm vindo a desvirtuar progressivamente as características que identificam este tipo concreto de edificado:

Introdução de peças de granito de reduzida espessura (placagens) nas soleiras, peitoris, ombreiras e padieiras, ou mesmo em toda a extensão da fachada por cima das peças maciças existentes. Obtém-se assim uma imagem que, sendo o acrescento de uma máscara, resulta mal na imagem do edifício.

Substituição ou alteração de caixilharias, quer das montras das lojas, quer das janelas dos pisos superiores, por materiais diferentes dos originais e de qualidade inferior, muitas vezes também com outro desenho. Foram verificadas situações de simplificação do desenho do caixilho, (que está muito na moda[§]), ignorando a importância do mesmo na composição do conjunto urbano

[‡] "Ao aparecer o vírus da cidade, que é o automóvel (não a invenção do automóvel, mas a democratização do automóvel, quando o automóvel chega à classe média), a cidade estoira, rompe..." NUNO PORTAS, *in* Programa *Portugal de...*, RTP1, 16-01-2007.

[§] "A actual arquitectura tem uma velocidade de duração dos estilos de poucos anos, está quase como a moda de vestir, o que é infernal". NUNO PORTAS, *in* Programa *Portugal de...*, RTP1, 16-01-2007.

e também de alteração da posição do caixilho, através de um recuo substancial relativamente ao plano da fachada. Foram até encontradas situações em que o novo caixilho consegue ter uma aparência mais antiga do que o anterior (através de pormenores mais elaborados ou de uma maior subdivisão dos vidros). Conforme explica Álvaro Siza: "Estão a descaracterizar a cidade em vez de a recuperar, utiliza-se mesmo, em alguns casos, caixilhos de plástico em vez de madeira, veja lá!"

Alteração dos materiais de revestimento exterior, tanto das fachadas como da cobertura. Muitas vezes são os azulejos característicos das fachadas do séc. XIX, as chapas onduladas ou os soletos de lousa que são trocados por reboco areado, contribuindo para a homogeneização dos revestimentos, perdendo-se desde modo o valor acrescentado da variedade. A substituição dos telhados por outro tipo de coberturas compromete a visão de conjunto, contribuindo para uma degradação da paisagem urbana.

Introdução de outros elementos na fachada. A unidade exterior do aparelho de ar condicionado pousado na varanda ou adossado à parede, a conduta de exaustão de fumos, a antena parabólica, a enorme quantidade de cabos e fios eléctricos que passam desordenados, são elementos que contribuem para a sua desqualificação. Também a utilização de frágeis tubos de queda em PVC revela a falta de preocupação nas intervenções.

Publicidade desarrumada. Verificou-se a existência de diversos reclamos ou toldos, que, para além de mal dimensionados e sem respeito pela envolvente, assumem demasiada presença na imagem do conjunto. Foram também detectados vários casos de vestígios de suportes de reclamos, sucessivamente retirados, actualmente sem qualquer função e funcionando como "lixo" deixado na fachada.

Descaracterização do espaço público. Apesar de se afastar um pouco do âmbito deste trabalho, referem-se sucintamente casos de intervenções recentes no espaço público que se desenvolveram dentro de uma linha minimalista, que vem sendo seguida nesta e noutras cidades, com tendência para uniformizar os espaços, concorrendo para a sua descaracterização.



Figuras 1 e 2: Substituição de caixilharias, placagens, falta de azulejos, reclamos, tubo de queda em PVC e equipamentos (alarme, ar condicionado e grade de enrolar).

No que concerne às intervenções registadas ao longo deste projecto que permitiram a manutenção do carácter da construção, visitámos alguns imóveis requalificados pelo CRUARB, assim como obras apoiadas pelo RECRIA, nas quais foram usadas as ferramentas por nós preconizadas. Podemos ainda indicar a existência de edifícios que têm vindo a ser objecto de uma conservação contínua, o que permitiu manter as características arquitectónicas originais, para além da manutenção de actividade em todos os seus pisos, incluindo a função habitacional.

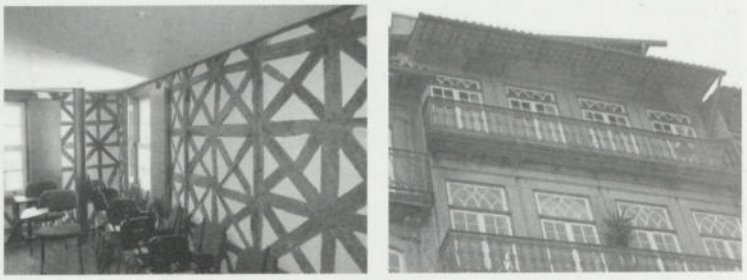


Figura 2: Exemplos positivos de edifícios reabilitados.

2 Que estratégia para o Centro Histórico?

Para se conseguir o regresso da população à "baixa", para além da actualização dos valores das rendas e do aumento da tributação do património imóvel, seriam necessárias outras medidas:

- Reabilitar os imóveis em mau estado através de obras coercivas. O município não pode abdicar do uso das ferramentas legais disponíveis para restaurar as fachadas e as coberturas dos edifícios que aparentem estar devolutos e a entrar em deterioração. No caso dos imóveis de propriedade municipal esta medida deverá ser encarada como prioritária;
- Todos os prédios devolutos deveriam integrar uma espécie de bolsa, com o fim de serem vendidos a interessados na sua recuperação;
- Investir na divulgação dos programas de apoio à reabilitação, de que é exemplo o RECRIA;
- Incentivar o investimento em transportes colectivos e numa rede alargada de transportes públicos fiáveis, frequentes, rápidos e cómodos, para competir com o automóvel;
- Implementar medidas para combater o ruído, abarcando contenção na concessão de licenças de funcionamento de bares no Centro Histórico, que fomentam a frequência nocturna provocando incómodo aos moradores.

3 Critérios de reabilitação

No que se refere aos princípios de reabilitação dos imóveis, citamos Souto de Moura: "Não queria que esta aceleração levasse a um aligeiramento dos critérios de recuperação. Acho um erro que muitos edifícios com estruturas de madeira, tectos e escadas sejam demolidos para serem feitos em betão."

Efectivamente, reabilitar a cidade histórica é muito mais do que construir novos edifícios atrás de fachadas antigas. É saber manter a sua autenticidade, assegurando a conservação dos seus pormenores característicos. Num mundo cada vez mais homogéneo em termos de soluções arquitectónicas – e de espaço público – e com uma crescente mobilidade de turistas, é cada vez mais necessário saber valorizar aquilo que temos de diferente. Valorizar, no sentido de requalificar os edifícios, sem necessidade de criar roturas, mas dando resposta a novas funções, dentro de um conceito dinâmico de melhoria permanente, evitando a adopção de grandes medidas em que se faz tudo novo e nas quais se vai esbatendo aquilo que nos diferencia dos outros, aquilo que faz do Porto uma cidade única no mundo.

Será necessário dar condições aos proprietários para fazerem pequenas obras – secas de preferência – de adaptação e actualização dos seus imóveis, evitando-se o recurso a grandes obras de betão armado, com todos os inconvenientes e incómodos daí inerentes. Lembra-se que a população tem vindo a ser atormentada nos últimos anos por constantes obras. Estados de conservação do edifício mais desfavoráveis poderão obrigar a um tipo de intervenção mais profunda.

Manutenção das características e dos materiais das fachadas e das coberturas	A introdução de alterações nas caixilharias é possível desde que respeite o desenho, o pormenor e o material original. A inserção de vedantes em borracha e de vidros duplos deve ser projectada com cautela.
Manutenção do sistema estrutural e dos grandes elementos singulares, como a caixa de escadas e o lanternim	A introdução de elementos novos, como zonas de água – quartos de banho e cozinhas – deve ser efectuada para melhorar as condições de habitabilidade das casas, não obrigando a alterações substanciais na armação de vigamentos normalmente existente.

4 Reflexões finais

— Numa altura em que o turismo na cidade do Porto é uma indústria em crescimento exponencial, é preciso ter noção de que "os lugares que atraíram, primeiro, um pequeno número de pessoas e, depois, multi-

dões, podem deixar de possuir as características que originalmente justificaram a sua vocação turística"[**];

— Na cidade do Porto, a preservação da autenticidade e da variedade das arquitecturas, nomeadamente dos pormenores e dos materiais dos edifícios, é a chave para o sucesso;

— Para tal, é necessário redescobrir uma "escola" de execução de práticas de manutenção e reabilitação, sem descurar a sua sustentabilidade económica;

— Em resumo, uma actuação permanente na conservação dos vários componentes do edifício (impedindo-se em especial a entrada de água) evitará o alastramento de patologias a outros elementos, que rapidamente conduziria ao seu colapso. Procedimento análogo se aplica ao edifício na escala da cidade.

5 Bibliografia

[1] Losa, R. R. (coord.). *Porto a Património Mundial. Processo de Candidatura do Centro Histórico do Porto à UNESCO*. Porto: Câmara Municipal do Porto, 1993, 1998 e 2000 (3 livros).

[2] ICOMOS. *Carta de Cracóvia – Princípios para a Conservação e Restauro do Património Construído*, 2000.

[3] ICOMOS. *Recomendações para a Análise, Conservação e Restauro Estrutural do Património Arquitectónico*, 2004 (versão portuguesa disponível em www.civil.uminho.pt/masonry).

[4] ICOMOS. *Vienna Memorandum on "World Heritage Contemporary Architecture – Managing the Historic Urban Landscape"*, 2005.

[5] Lopes, N. Valentim. *Reabilitação de Caixilharias de Madeira em Edifícios do Século XIX e Início do Século XX*. Dissertação de Mestrado, FEUP, 2006.

[6] Teixeira, G. B. & Belém, M. C. *Diálogos de Edificação. Técnicas Tradicionais de Construção*. Porto: CRAT Centro Regional de Artes Tradicionais, 1998.

[7] Siza, A. *Arquitectura é Prazer e Inferno*. Jornal de Notícias, 05/05/2008: pp. 42-43.

[8] Moura, E. Souto de. *Caiu-se num Arraial*. Jornal Expresso, caderno "Espaços e Casas", 06/09/2008: p. 4.

[9] Esquema de pintura para caixilharia de madeira com acabamento a esmalte: http://www.robbialac.pt/folder/produto/itc/109_045-___08-1.pdf

[**] ADRIÃO, JOSÉ + RICARDO CARVALHO *in* Jornal Arquitectos. n.º 227 (Abr. – Jun. 2007), pág. 2.

A UTILIZAÇÃO DA INSPEÇÃO PREDIAL COMO FERRAMENTA ESTRATÉGICA PARA DIAGNÓSTICO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS E DE AVALIAÇÃO DAS TÉCNICAS, DE USO E DE MANUTENÇÃO DAS EDIFICAÇÕES

Paulo César Pérez Baldasso*
paulo.baldasso@fbss.org.br

Resumo

O homem sempre necessitou de abrigo para sobreviver, estando sempre, a actividade humana associada à construção, seja para o trabalho, moradia, ou lazer. Nenhum outro factor influencia tanto a vida do homem como o ambiente construído com a excepção do meio ambiente em que ambos estão inseridos (Antonioli,Graça, 2003). A funcionalidade do edifício está directamente relacionada com os seus sistemas prediais, uma vez que estes são elementos integrados ao edifício e que tem por objectivo dar suporte às actividades dos usuários, suprindo-os com insumos necessários e fornecendo os serviços requeridos. Segundo a ASTM – American Society for Testing and Materials a definição de funcionalidade é a de "ser adequado para um uso particular". A manutenção é a actividade que teve origem na era Industrial e teve o marco inicial de discussão no Brasil foi instaurado em 1999 com a aprovação na Associação Brasileira de Normas Técnicas da norma técnica a NBR 5.674-Manutenção de Edificações. A metodologia de avaliação de manutenções será fundamental para a elaboração do plano de manutenção e da estratégia de priorização de actividades a serem realizadas nas edificações para conservar ou recuperar a capacidade funcional e de suas partes constituintes a fim de atendimento das necessidades e segurança de seus usuário. O presente artigo visa demonstrar a importância da utilização da ferramenta Inspeção Predial como forma de geração de eficiência na gestão estratégica edificações no que tange a manutenção uso e operação para qual as mesmas foram concebidas proporcionando a estas por mais tempo a permanência no mercado imobiliário como investimentos económicos, seja como reserva de valor e/ou retorno do capital investido.

Palavras-chave: Manutenção, Inspeção Predial.

1 Introdução

A manutenção é actividade corriqueira na área industrial, porém o mesmo não ocorrem com as edificações.

* Diretor de Empresa de Arquitetura e Engenharia, Mestre em Construção Civil – Universidade Federal do RGS – UFRGS, Brasil.

Apesar de recente evolução dos estudos desta atividade no Brasil, a realidade se revela improvisações e ausência de profissionalismo na maioria dos prédios brasileiros.

Com a aprovação pela ABNT da Norma 5674 – Manutenção de Edificações – Procedimentos em 1999, muito se tem discutido no meio técnico sobre manutenção predial, porém há um longo percurso a ser trilhado para que os procedimentos venham a ser efetivamente implantados.

Ao longo da vida útil da construção, quando entra efetivamente em utilização, a edificação e suas partes estarão submetidas a um conjunto de condições de exposições de diversas naturezas: acções climáticas, acções características do local onde ela se situa, acções introduzidas pelo próprio usuário.

Em razão da tendência de elevarem-se os custos operacionais, de mão-de-obra, de peças, de materiais e de serviços terceirizados, provocando assim uma queda exponencial da lucratividade dos negócios, a manutenção vem ganhando mais espaço nos setores de prestação de serviços. Além da preocupação em aplicar técnicas de conserto e execução, surge a necessidade de estabelecer um controle mais eficiente e racional das informações, com o fim de promover um aumento (sempre vinculado a uma redução de custos) da qualidade do serviço prestado (Linzmayer, 2004).

2 Acidentes Prediais

As anomalias construtivas e descuidos com a manutenção predial são causadores de danos pessoais e materiais significativos, tanto aos usuários e proprietários de edificações, como à sociedade em geral, devido a deterioração urbana que favorece o crime, afasta o turismo e reduz a auto-estima dos cidadãos.

Os acidentes prediais decorrem de falhas na construção ou na manutenção predial, vêm causando danos e prejuízos injustificáveis, principalmente com o envelhecimento e desvalorização das edificações de um modo geral.

As conseqüências dos acidentes prediais poderão trazer danos materiais significativos, danos físicos injustificáveis, envelhecimento das edificações, desvalorização das edificações, deterioração urbana favorecendo o crime e afasta o turismo e reduz a auto estima dos cidadãos.

3 Causas das Anomalias Construtivas

Segundo Gomide, Pujadas (2006) as anomalias construtivas e descuidos com a manutenção predial são originárias de fatores endógenos, exógenos, naturais ou funcionais que podem afetar seriamente as edificações sendo assim descritos:

— factores endógenos ou internos: são provenientes de irregularidades de projecto, ou de execução, ou de materiais utilizados, ou ainda da combinação dessas etapas, tais como trincas, portas empenadas, etc.;
— factores exógenos ou externos: são provenientes da intervenção de terceiros na edificação, tais como danos causados por obras vizinhas, choque de veículos em partes da edificação, vandalismo;
— factores naturais: são aqueles provenientes da imprevisível acção da natureza ,tais como as excessivas descargas atmosféricas, as enchentes, os tremores de terras e outros que possam causar danos que coloquem em risco a edificação;
— factores funcionais: são aqueles que provocam falhas decorrentes do uso inadequado, envelhecimento ou falta de manutenção, tais como as sujidades em fachadas, as incrustações e corrosões das tubulações hidráulicas, ataques de pragas urbanas.

Ressaltamos que a perda ou deficiência do desempenho de qualquer sistema construtivo ou equipamentos e máquinas, incorre na perda da vida útil projetada ou prevista, perda da capacidade de ganho de uma sobrevida, e coloca em risco questões de uso, conforto e segurança dos usuários.

4 Durabilidade das Edificações

A definição de desempenho para edificações pode ser assim atribuída: propriedade da edificação e de suas partes constituintes de conservarem a capacidade de atender aos requisitos funcionais para os quais foram projetados, quando expostas as condições normais de utilização ao longo da vida útil projectada (NBR 5674/99- Manutenção de Edificações, ABNT);

Os fatores que interferem na durabilidade das edificações podem ser assim descritos: materiais (resistência a agentes de degradação: materiais e uso (dimensão, cor e qualidade); projecto (tipo, de factores a que estão submetidos os elementos), condições de uso (menor ou maior mantenabilidade, nível de desempenho), manutenção (periodicidade, intensidade), atmosfera (varia conforme o clima, temperatura e nível de agressividade) e falhas na manutenção.

5 Significado da Manutenção

A manutenção é imprescindível para a conservação da garantia das construções, quando estas possuem idade igual ou inferior aos cinco anos.

Quando a construtora entrega o manual do síndico e do proprietário a seus clientes, contendo todas as informações necessárias para que esses executem um plano de manutenção, bem como saibam usar e operar os diversos sistemas construtivos e seus equipamentos, a falta ou negligência com a manutenção incorre na perda da garantia.

Defini-se manutenção como "conjunto de atividades a serem realizadas para conservar ou recuperar a capacidade funcional da edificação e de suas partes constituintes para atender às necessidades e segurança de seus usuários de acordo com padrões aceitáveis de uso, de modo a preservar a utilidade e funcionalidade".

Compreende na realização da manutenção rotineira, antecipada e planejada, que é caracterizada pela realização de serviços constantes e simples que possam ser executados pela equipe de manutenção local ou especializadas".

Caracteriza-se pelos serviços não previstos na manutenção preventiva, incluindo manutenção de emergência, caracterizada por serviços que exigem intervenção imediata para permitir a continuidade de uso das edificações e evitar riscos graves ou prejuízos pessoais e patrimoniais aos seus usuários e proprietários".

Segundo Gomide, Pujadas (2006) o conceito atual da manutenção brasileira está focada em consertar o que está quebrado, sem a disponibilização de recursos necessários à implantação de plano de atividades particularizados para cada empreendimento.

6 Plano de Manutenção

O plano de Manutenção constitui um conjunto de informações e procedimentos (diretrizes) que orientam as atividades de manutenção e as rotinas de operação de sistemas, consoante com uma estratégia.

Segundo a NBR 5674/99 o plano de manutenção deverá conter minimamente:

- padrões de desempenho mínimo toleráveis pelo usuário e aceitáveis pelos fabricantes, em consonância com os projectos;
- prazos aceitáveis entre a observação da falha e a conclusão do serviço correspondente;
- observância das normas técnicas e outras legislações;
- periodicidade de rondas preventivas das equipes da manutenção;
- estratégia de manutenção: é a ideologia do plano, ou seja, os aspectos teóricos que são considerados para que seja definida uma forma de materialização, baseado em etapas de planejamentos.

7 Inspeção Predial

O conceito de inspeção Predial no Brasil foi lançado no X COBREAP (Congresso Brasileiro de avaliações e perícias promovido pelo Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias do Estado do RGS, mais precisamente na cidade de Porto Alegre.

A Inspeção Predial pode ser compreendida sobre três vertentes quando trabalhamos com uma visão sistémica tridimensional assim compreendida:

— técnica: levantamento de todas as anomalias construtivas da edificação com as devidas análises do desempenho de seus sistemas;
— uso: determinação das anomalias funcionais analisando o desempenho da ocupação (homem + meio ambiente);
— manutenção: apuração de falhas, verificação dos processos de operação e análise de custos.

Segundo Gomide, Pujadas (2006) I a Inspeção Predial é a avaliação das técnicas, de uso e de manutenção da Edificação de modo orientar a Manutenção e a Qualidade Predial Total.

8 Objetivo da Inspeção Predial

O principal objectivo da Inspeção Predial é a orientação é da manutenção através de um "*check-up*" Predial visando:

— avaliar o estado de conservação e manutenção;
— constatação de conformidades:técnico-operacionais, de uso e de manutenção;
— avaliação do desempenho;
— identificação de riscos a operação e outros;
— proposta de adequações de planos de manutenção e gestão operacional.

9 Conclusão

Concluo que a Inspeção Predial, pelo menos no Brasil, ainda carece de aprofundamento metodológicos por parte dos técnicos e de melhor entendimento de sua utilidade como ferramenta pelos cidadãos.

A utilização desta ferramenta propiciará a proprietários, construtores e investidores além do diagnóstico preciso de manifestações patológicas nas edificações agregará também os seguintes benefícios:

— subsídios para elaboração de planos de manutenção integrada, em que o laudo de IP é utilizado como coleta e fonte de informações, além de ser o "retrato"da edificação e de seu estado de conservação;
— auxílio na revisão de manuais de síndico e proprietário, quando contratada na época da assistência técnica da construtora, a fim de subsidiar a mesma;
— preserva a garantia da construção quando aliada ao manual do síndico e proprietário para melhor orientar o condomínio na boa prática das actividades de manutenção já recomendadas pela construtora;
— verificação do estado de conservação da edificação, além de informar as condições gerais da edificação, podendo ser utilizado em avaliações de imóveis, além de estudos de valorização e modernização;

— informa subsídios técnicos e o "estado real" da edificação para estudos preliminares de retrofit;
— auxílio em transações imobiliárias(compra e venda de imóveis e locação),informando o estado de conservação e alertando para eventuais necessidades de reparos importantes;
— auxílio na gestão condominial (síndico e administradora), quando elaborado dentro de uma periodicidade, a fim de atestar e verificar a evolução do estado de conservação do imóvel, além de auxiliar na boa manutenção;
— redução de prémio de seguro, pois atesta o estado de conservação;
— auxílio na elaboração de planos de manutenção com visão estratégica;
— auditoria do processo construtivo de edificações para verificação da não-conformidades;
— auxílio na elaboração de planos de emergência;
— auxílio na orientação de regularização imobiliária;
— auxílio na elaboração de PPCIs para condomínios;
— auxílio na elaboração de especificações técnicas e processo selectivo de empresas para a execução de obras de manutenção ou de melhorias;
— auxílio em processos judiciais e extra-judiciais na forma de assistência técnica;
— auxílio na elaboração de melhorias arquitectónicas visando atender as necessidades dos usuário das edificações;
— auxílio na formatação de contratos de serviços de manutenção terceirizados.

10 Bibliografia

[1] Antoniolli, P. E; Graça, M. E. A, *Subsídios para o Planejamento de Sistemas de gerenciamento de facilidade de Edificações Produtivas*, 2003

[2] Associação De Normas Técnicas Da ABNT - NBR 5674- *Manutenção de Edificações.* São Paulo- Brasil. 1999.

[3] Linzmayer, E, ,*Guia básico para Administração da manutenção Hoteleira,* São Paulo. Editora Senac, 2004.

[4] Gomide, T.L.F& Pujadas F.Z.A & Neto, J.C.P.F. Técnicas de Inspeção e Manutenção Predial. São Paulo. Editora Pini Ltda.2006.

[5] Baldasso. P. C.B & Nether.O.S& munró.M.C.M. *Artigo Técnico. Inspeção Predial: Demanda Especializada.* Porto Alegre-Brasil. Revista Periódica N 44 do Conselho Regional de Engenharia Arquitetura e Agronomia do Estado do Rio Grande do Sul (CREA/RS). 2008

[6] Baldasso. PC.B & Nether.O.S& Munró.M.C.M. Artigo Técnico. *Plano de Manutenção Predial: Investimento Pró-ativo.* Porto Alegre-Brasil. Revista Periódica N 50 do Conselho Regional de Engenharia Arquitetura e Agronomia do Estado do Rio Grande do Sul (CREA/RS). 2008

O PROJECTO PRONIC® E A METODOLOGIA DE ABORDAGEM À REABILITAÇÃO

Hipólito Sousa*
hipolito@fe.up.pt

Joaquim Moreira†
jjm@fe.up.pt

Pedro Mêda‡
pmeda@fe.up.pt

Resumo

A presente comunicação pretende, de uma forma sumária, apresentar a aplicação ProNIC®. As motivações que levaram ao seu desenvolvimento, o âmbito da 1ª fase de trabalhos, a sua estrutura e funcionalidades, dando especial ênfase à sua aplicabilidade em obras de reabilitação de edifícios.

Palavras-chave: Normalização, Especificações Técnicas, Referencial, Reabilitação, Sustentabilidade.

1 Introdução

ProNIC® designa o "Protocolo para a Normalização da Informação Técnica na Construção" e refere-se a um projecto de investigação cujo objectivo essencial é desenvolver um conjunto sistematizado e integrado de conteúdos técnicos credíveis, suportados por uma ferramenta informática moderna, e que se pretende possam constituir um referencial para todo o sector da construção portuguesa.

O projecto foi aprovado em Dezembro de 2005, no âmbito do Programa Operacional Sociedade do Conhecimento (POSC) e teve como entidades promotoras a DGEMN (Direcção Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais), o INH (Instituto Nacional da Habitação) e a EP (Estradas de Portugal). Posteriormente, com a extinção da DGEMN e do INH, a responsabilidade da gestão

* Professor Associado, FEUP/DEC/SCC/GEQUALTEC.
† Coordenador de Investigação, FEUP/DEC/SCC/GEQUALTEC.
‡ Bolseiro de Investigação, FEUP/DEC/SCC/GEQUALTEC.

do projecto passou a ser assumida pelo IHRU (Instituto da Habitação e Reabilitação Urbana) e pela EP.

O desenvolvimento do trabalho técnico do ProNIC® é assegurado por um consórcio, criado para o efeito, no qual participam o Instituto da Construção (IC-FEUP), o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) e o Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores do Porto (INESC-Porto) [1].

2 Debilidades Identificadas no Sector

O sector da construção em Portugal apresenta problemas de eficiência em múltiplos domínios que se traduzem genericamente, na falta de qualidade das realizações e na reduzida rentabilidade das organizações intervenientes no processo construtivo, com a consequente repercussão nos custos dos produtos.

As causas destas debilidades estão associadas a vários factores, nomeadamente no que concerne à dificuldade de comunicação entre os diferentes agentes do sector, que resultam da ausência de documentos técnicos de referência, da dificuldade de reunião documentos normativos e especificações e da inexistência de estruturas normalizadas para Mapas de Trabalhos e Quantidades.

Assim, verifica-se no contexto actual, que documentação de índole técnica e contratual de suporte à realização dos vários tipos de obras é produzida no âmbito do projecto pela equipa projectista, apresentando-se sob diversos formatos e com conteúdos muito díspares em extensão e substância.

Deste modo, torna-se consensualmente reconhecida a necessidade de utilização de sistemas estruturados de informação técnica que integrem conteúdos *standardizados* de referência e processos funcionais para a sua gestão e organização.

3 Estrutura e Conteúdos ProNIC®

O ProNIC® é constituído por uma base de dados de trabalhos de construção e por um conjunto de aplicações que permitem a gestão e articulação dos conteúdos, e a sua utilização pelos diferentes agentes do processo construtivo.

No que se refere ao âmbito do ProNIC®, o trabalho desenvolvido contempla duas grandes áreas da construção: Edifícios em Geral e Infra-Estruturas Rodoviárias, sendo que nos Edifícios são tratadas as áreas da Construção Nova e da Reabilitação.

A base de dados inclui a informação técnica que permite gerar: articulados detalhados para Mapas de Trabalhos e Quantidades; fichas de Execução de Trabalhos; fichas de Materiais;

Sendo o Mapa de Trabalhos um elemento importante para a limitação de indefinições nas fases de lançamento e execução das obras, a sua produção

deve ser uma tarefa eminentemente técnica e da responsabilidade do projectista.

O processo de criação dos articulados no ProNIC®, integrando esta preocupação, constitui uma ajuda para a completa e correcta definição do tipo e natureza dos trabalhos, através da disponibilização em cada situação, e de uma forma sistematizada, das diferentes opções, de textos de auxílio à tomada de decisões e da compatibilização das escolhas com a normalização em vigor.

As **fichas de execução de trabalhos** e as **fichas de materiais**, são geradas automaticamente em função dos trabalhos criados e obedecem a uma estrutura de organização comum. Contêm os conteúdos técnicos que dão corpo às cláusulas técnicas especiais dos Cadernos de Encargos. Estes conteúdos integram disposições da normalização nacional e europeia mais recente.

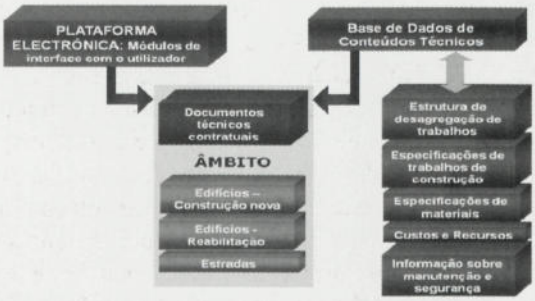


Figura 1: Estrutura e Conteúdos do ProNIC®.

3.1 Edifícios

O modelo de desagregação adoptado nos trabalhos de construção em edifícios segue no fundamental os critérios habituais que têm por base as regras de medição do LNEC [2], isto é, uma divisão da obra em capítulos correspondentes às diferentes "artes" ou especialidades, tendo-se introduzido algumas modificações, de forma a traduzir a evolução dos processos, metodologias, tecnologias de construção e perspectiva das normas europeias.

Dentro dos capítulos desenvolve-se uma estrutura de desagregação que inclui dois grandes grupos de trabalhos: os trabalhos de construção em geral e as técnicas de reabilitação.

3.2 Estradas

No que se refere às obras de infra-estruturas rodoviárias a opção tomada foi a de manter a filosofia de desagregação primária estabelecida no Caderno de Encargos da EP, isto é, divisão por capítulos correspondentes aos grandes

grupos de trabalhos de estradas, e adaptar o processo de construção do articulado à metodologia adoptada para as obras de edifícios.

4 A reabilitação no ProNIC®

4.1 Enquadramento

O grupo dos trabalhos específicos de reabilitação não se encontrava, até à data, tratado de uma forma sistematizada, não existindo nenhum modelo de estrutura de desagregação para os mesmos, com critérios seguidos habitualmente pela generalidade do sector como, apesar de tudo, acontecia com os trabalhos de construção geral.

Deste modo, a reflexão realizada sobre esta questão, revestiu-se de uma maior complexidade, já que se pretendia encontrar uma solução que tivesse em conta simultaneamente, por um lado uma abordagem sistematizada às intervenções de reabilitação, e por outro lado uma articulação e integração com o modelo adoptado para os trabalhos de obra nova.

Uma metodologia adequada deverá contemplar os pressupostos enunciados, permitindo a compatibilização de um conjunto de questões que se colocam no tratamento das obras de reabilitação, designadamente:

- Na generalidade dos casos das obras de reabilitação é presumível encontrar diferentes tipos de trabalhos:

a. Trabalhos em tudo idênticos aos de obra nova, em que não há qualquer diferença, quer no tipo de trabalho, quer nas condições de execução e em quaisquer outros factores que influenciam o preço associado aos mesmos;
b. Trabalhos que, embora aparentemente idênticos aos da obra nova, têm limitações e constrangimentos à sua execução, induzidos pela pré-existência. Estes constrangimentos podem estar relacionados com a compatibilidade com elementos/materiais existentes, ou com a execução física dos trabalhos, obrigando, em qualquer dos casos, a uma especificação que tenha em conta essas condições particulares e ao estabelecimento de preços de referência distintos (agravados) dos considerados para trabalhos homólogos de obra nova;
c. Processos específicos de reabilitação que incluem um conjunto de técnicas de intervenção que podem contemplar diferentes trabalhos, como por exemplo trabalhos de reparação, de protecção ou de reforço de elementos construtivos;

- A organização da estrutura de desagregação prevista para a obra nova poderá não ser a mais adequada para as obras de reabilitação. Haverá que considerar uma estrutura organizativa (alternativa) que contemple a possibilidade de os trabalhos referentes a um determinado processo de reabilitação surgirem

associados, e não separados nos diferentes capítulos previstos para a obra nova, de forma a que possam ser facilmente correlacionados.

- A concepção da metodologia a adoptar deve atender à possibilidade futura de geração de modelos adaptados a alguns tipos de obra mais comuns na área da reabilitação, como por exemplo reabilitação de bairros sociais das décadas de 60 e 70.

4.2 Metodologia

No trabalho desenvolvido na 1ª fase do projecto, e em resultado da reflexão feita sobre as questões enunciadas anteriormente, o enquadramento das obras de reabilitação foi efectuado adoptando uma metodologia de abordagem com as seguintes linhas principais de orientação:

- Estabelecimento, nas obras de edifícios, de dois grandes grupos de trabalhos – trabalhos de construção em geral (obra nova) e trabalhos (intervenções de reabilitação). Esta divisão é feita ao nível de cada um dos capítulos da estrutura de desagregação primária das obras de edifícios. Os articulados referentes a trabalhos de reabilitação incluem apenas os processos específicos de reabilitação, uma vez que os trabalhos em tudo idênticos aos da obra nova fazem parte do grupo de trabalhos de construção em geral. A criação dos articulados para obras de reabilitação é assim, efectuada em cada capítulo através da selecção de trabalhos dos dois grandes grupos referidos. Possibilidade da criação, com base nos artigos ProNIC, de artigos que contemplem as especificidades das condicionantes de pré-existência da obra.

- Estabelecimento, na base de dados de preços de referência, para determinadas artigos, de fichas de custos com valorização de recursos diferenciada por forma a contemplar condicionantes de pré-existência aplicáveis a trabalhos de construção em geral em obras de reabilitação.

- Criação de estrutura de desagregação primária adaptada para as obras de reabilitação, seguindo o critério de função/espaço dos elementos, em lugar do critério de artes/especialidades. Esta metodologia de abordagem permite que os diferentes trabalhos relacionados a um processo/intervenção de reabilitação surjam associados, no Mapa de Trabalhos e Quantidades. Na elaboração do articulado, o utilizador pode optar por fazer a criação dos artigos em qualquer uma das estruturas organizativas, sendo possível no final deste trabalho efectuar a transposição de uma para a outra.

5 Transversalidade do ProNIC®

O ProNIC® contém funcionalidades que permitem uma intervenção transversal em todo o processo construtivo, desde a fase de concepção até à fase de utilização, com contributos a vários níveis:

Na fase de **concepção e projecto** (*Equipa Projectista*) – através da geração automática de Caderno de Encargos, Mapas de Trabalhos e Quantidades e Estimativas de Custos;

Na fase de **consulta e contratação** (*D.O./Gestor/Empreiteiro*), através das funcionalidades relacionadas com a organização dos processos, elaboração e comparação de propostas e desagregação da informação para sub-contratação;

Na fase de **execução das obras** (*Empreiteiro e Fiscalização*) – pela disponibilização da informação técnica de apoio à correcta execução dos trabalhos e à selecção dos materiais, bem como à correcta verificação da conformidade dos trabalhos e materiais;

Na fase de **utilização** (*Utente*) – através da disponibilização de textos contendo linhas de orientação para a manutenção das edificações.

6 Conclusões

A intervenção transversal nos múltiplos domínios do processo construtivo, permite esperar que o ProNIC® contribua para a resolução de algumas debilidades identificadas na construção portuguesa. Dos impactos e mais-valias que poderá produzir, salienta-se:

Contributos para a estruturação (modelos) das intervenções de reabilitação.

A melhoria na qualidade da informação técnica, com os expectáveis reflexos na qualidade dos produtos finais;

A limitação dos problemas da contratação relacionados com indefinições e erros de interpretação dos documentos de projecto, com as consequentes reduções de custos associados à não qualidade e aos trabalhos a mais;

Uma maior facilidade na gestão das empreitadas e das subempreitadas;

O acesso generalizado aos referenciais normativos, pela disponibilização de compilação actualizada das normas e regulamentos;

Uma maior rentabilidade das organizações, aumentando a competitividade do sector.

Enquadramento com os objectivos do Código da Contratação Pública [3].

7 Bibliografia

[1] Ministério das Cidades, Administração Local, Habitação e Desenvolvimento Regional e das Obras Públicas, Transportes e Comunicações. *Despacho conjunto n.º 260/2005 Diário da República nº55*. Lisboa, 2005.

[2] Fonseca, M. Santos. *Curso sobre Regras de Medição na Construção*. Lisboa: LNEC, 1997.

[3] Ministério das Obras Públicas Transportes e Comunicações. *Decreto-Lei n.º 18/2008 Diário da República nº 20*. Lisboa, 2008.



CIB-W086

BUILDING DIAGNOSTIC AND PATHOLOGICAL ANALYSIS OF RESIDENTIAL BUILDINGS OF BUDAPEST

Ádám Bukovics*
bukovics@sze.hu

Abstract

A detailed building diagnostic and condition assessment was prepared about a considerable part of the buildings in District XIII of Budapest. I have processed 342 expert opinions altogether on the basis of building structure and building diagnostic aspects.

Expert opinions have been arranged in 3 groups and studied accordingly (multi-storey buildings, single-storey buildings, single-storey buildings in generally poor condition). The buildings were built between 1880 and 1950. A joint study of such buildings provides valuable information about the structures and building defects of condominiums built in Budapest in various ages. Connections can be discovered between the age, structural system, materials of the buildings and the diagnosed construction defects. In the study these connections are demonstrated by diagrams and figures, too. Since there are residential buildings of similar condition in various districts of Budapest, the experience, gained from analyses, can be efficiently utilized in the course of the rehabilitations of town quarters.

Keywords: Building diagnostics, Building structure, Building pathology, Structural defects.

1 Introduction

In District XIII of Budapest expert opinions were prepared concerning 342 residential buildings altogether, the systemization and study whereof provide lots of information.

The majority of the buildings were built between 1880 and 1950.

The knowledge and conclusions obtained from the structural and diagnostic research of the buildings can be efficiently utilized on a significant part of the residential buildings of Budapest, since a great part of the residential buildings in Budapest (especially in the inner districts) were built at the end of the

* Széchenyi István University Győr, Faculty of Engineering Sciences, Department of Structural Engineering, Győr, Hungary, Telefon +36-96/613-633, Fax +36-96/613-635, bukovics@sze.hu

19th century, and the beginning of the 20th century. Therefore their age, structural arrangement and conditions are similar to those of the buildings under review.

The results of this study may facilitate the implementation of the rehabilitation conceptions and can be efficiently used during utilization and renovation of deteriorated buildings.

Conclusions can be drawn on the typical construction methods of various ages and the characteristic construction defects thereof. Significant financial savings can be achieved by the elimination of construction and operational defects. The knowledge of construction materials and systems of a building enables us to identify the frequency of the typical defects.

The study may be helpful in the optimum allocation of economic resources which are available for renovations (rehabilitation).

2 Examination method

I have examined the buildings separately on the basis of the aspects of building structures and building diagnostics.

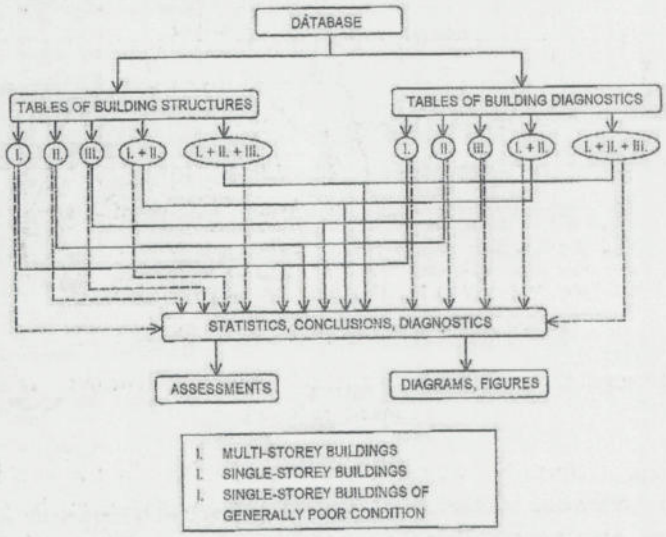


Figure 1: Flow-chart of database processing.

Relying on the database I have arranged the buildings into 3 groups. Group 1 includes multi-storey buildings, with the number of storeys ranging from 2-5. Group 2 includes single-storey buildings, and single-storey buildings of generally poor condition are included in Group 3.

Various groups have been studied separately and together as well, and I have identified the connections between the diagnosed building defects and the systems and materials of the structures. The most important statistics and connections have been demonstrated in diagrams and figures. The processing flow-chart can be seen in Figure 1.

3 Examination of foundation structures

Strip foundation from brick was most frequently used during the time-period under review. Concrete foundations became prevalent from the 1920s, and in the 1930s these were more frequently used than brick foundations. Stone and mixed foundations were typical until the end of the 19th century, later they became less frequently used. In the case of the examined buildings stone-concrete foundation was first used at the beginning of the 19th century. 'Figure 2'

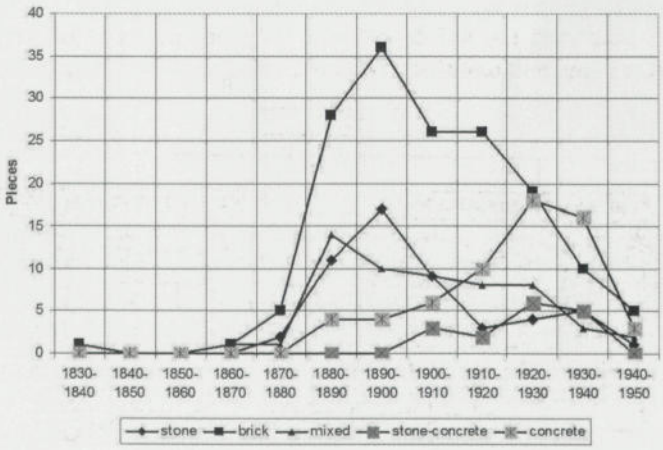


Figure 2: Changes of strip foundation materials in terms of time in the case of the examined buildings.

The most frequently occurring foundation defect is the soaking of the foundation structure. This is the number 1 type of defect in the case of the multi-storey, single-storey, and single-storey buildings of generally poor condition, too. Frost damage is not typical in the case of multi-storey buildings, while it occurs frequently in buildings of generally poor condition. Weathering and sinking cracks occur less frequently.

4 Examination of wall structures

76.9% of the examined buildings were built with wall structures from bricks. Simultaneous application of brick and stone occurs in 14.6% of the cases. In some of the buildings lime-sand bricks, concrete and stone structures were simultaneously used, as well.

The most frequently occurring reason for deterioration is the soaking of the wall structures, which is caused by the lack or deterioration of insulation. Deteriorations, typical of all three building types, are the shear cracks resulting from sinking. From the aspect of the physics of buildings nearly 30% of the masonry is unsuitable, usually due to the lack of the required wall thickness. Fungal infections of wall structures are mainly characteristic of multi-storey buildings, it occurs in 30% of the cases. Rarely occurring types of defects are the collapse of wall structures, mortar corrosion and frost damage.

5 Examination of slab structures

Slab structures were examined on the basis of their location (cellar slab, intermediate slab and cover slab).

Brick vaults are most frequently used in cellar slabs (38%) followed by steel beam and brick enforcement type slab structures (37%). Bottom and top ribbed monolithic reinforced concrete plates (9%), reinforced concrete slabs prepared with steel beams (8%) often occurred in the examined buildings.

54% of the intermediate slabs are brick vaulted slabs built with steel-beams. Other steel-beam slabs occur in 16% of the studied building stock. 12% of the slabs were made of monolithic reinforced concrete plate, and 9.9% thereof were pre-cast concrete beam slabs and wooden slabs.

The cover slabs were predominantly (92%) built with wooden structure, and a smaller portion (4.4%) with monolithic reinforced concrete slabs. Any other slab structures seldom occur in the case of roof slabs.

In the case of slabs built with steel beams the most frequently occurring defects of the cellar slabs and intermediate slabs is the corrosion of steel beams, while in the case of reinforced concrete plates it is the corrosion of the reinforcement rod occurring due to the imperfect concrete cover for reinforcement. The entire deterioration of the slab was detected in the case of 1.5% of the buildings. Frequently occurring damage of the roof slabs are the rot (42.9%), fungal infections (26.8%), soaking (20.1%), and infestation (18.1%). 20.1% of the slab beams are cracked and 19.5% thereof has deflection exceeding the allowable limit. 7.3% of the beam ends, supported by walls underneath, are not insulated, which may result in the rot of the beam ends, exposed to accident risk. 'Figure 3'

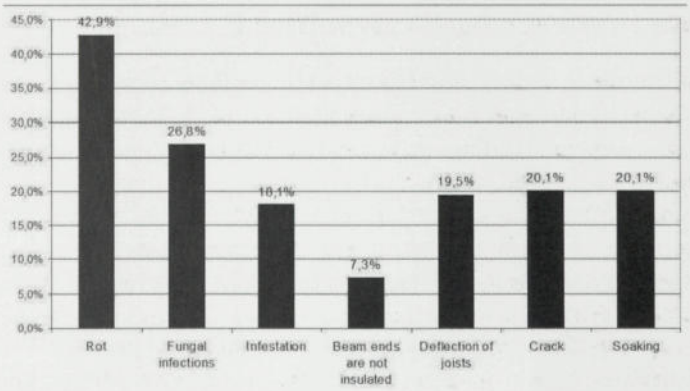


Figure 3: Defects of roof slabs of buildings under review.

6 Examination of suspension corridor structures

Suspension corridors were typically built with three different types of structural systems: with stone brackets (24%), steel brackets (58%) and monolithic reinforced concrete plates. Suspension corridors built with stone brackets are mainly covered by natural stone plates. Suspension corridors built with steel brackets have been made with reinforced concrete plates, brick vault, cinder concrete plates and natural stone plates alike. Typically steel bracket type suspension corridors were built between 1890 and 1920, the monolithic reinforced concrete plates became widespread as from the 1930s.

The most frequently occurring defects of the monolithic reinforced concrete plate type suspension corridors are the frost damage (43%), cracks of the slab plate (17%) and corrosion of the reinforcement rod (13%).

A frequently occurring defect of the steel brackets is the corrosion of steel beams (spal).

24 % of the examined suspension corridors are strutted. Unprofessional strutting has caused the deterioration of wall and slab structures in many cases.

7 Examination of roof structures

Nearly exclusively wood is used as the material for the roof structures.

The most frequently occurring defects are rot (11,7%) and fungal infections (11,4%), which may originate in the wet timber stock.

Infestation only occurs in 5.2 % of the cases. It is also a frequently occurring defect where roof battens are largely bending down. In many cases split

beams occur, and large-scale deflection of the tie beams. Broken rafters seldom occur.

It is a building failure that the wooden structures have not been treated with proper finishing, and the junctions have not been professionally made.

8 Summary

The study of old residential buildings of Budapest provides lots of valuable information in connection with the structures and construction defects of the condominiums of Budapest of various ages alike. Connections can be detected between the age, structural system, material and the diagnosed construction defects of the buildings. Since there are in Budapest many residential buildings of similar age and conditions, the experience and connections drawn from the analyses can be efficiently utilized in the course of the renovation thereof and the rehabilitation of town quarters.

9 References

[1] Koppány, A 2007, '*Diagnostic System for Monitoring and Revaluing of Building Construction*', CIB World Building Congress 'Construction for Development', Cape Town, South Africa, 14 17 May 2007, pp. 730–741.

[2] Molnárka, Gergely 2007, '*The Construction of the Knowledge Base of Fuzzy Expert System in Building Pathology*', CIB World Building Congress 'Construction for Development', Cape Town, South Africa, 14 17 May 2007, pp. 1406–1417.

[3] Preisich, Gábor. 2004, *Budapest városépítésének története Buda visszavételétől a II. Világháború végéig* (History of Town-planning of Budapest from the Battle of Buda till the Second World War), TERC, Budapest.

COMASS – COMPREHENSIVE MAINTAINABILITY SCORING SYSTEM FOR BUILDINGS

M.Y.L. Chew*
bdgchewm@nus.edu.sg

Sutapa Das†
sutapa@nus.edu.sg

Abstract

A holistic grading system is essential for design-construction-maintenance integration and prevention of prevalent and recurrent building defects. The proposed COMASS (comprehensive maintainability scoring system for buildings) is a decision-enhancement tool applicable for part or whole of a new or existing building. Data was collected through case studies, surveys and face-to-face interviews with building professionals and facility managers. Analysis of causes and criticality of common defects using FMECA was conducted. Defect-mitigating factors along with scoring logic were analyzed. Based on objective and subjective criteria, AHP integrated 9 major elements of a building using relative weights for various zone-height combinations. An online application of COMASS was developed.

Keywords: AHP, Building defects, FMECA, Maintainability, Scoring.

1 Introduction

Growing complexity of building systems and higher user requirements [Shohet & Perelstein, 2004] have prioritized building maintainability over maintenance [CTC, 1999] especially for commercial building sector in order to attract and retain clients [Tay, 2006]. Though maintainability was first conceptualized in 1901 by US Army [US Dept of Defense, 1976], its application in building sector is limited. As a result, in spite of good design-construction-maintenance guidelines [Das, 2007], defects in buildings are prevalent and recurrent leading to poor maintainability [Chong & Low, 2006]. This paradox has been attributed to dearth of: (1) knowledge database of defects; (2) system selection framework and (3) communication [De Silva et al., 2004; Korka et

* National University of Singapore, School of Design & Environment, Department of Building, Singapore, Phone +65 6516 3496, Fax +65 6775 5502, bdgchewm@nus.edu.sg

† National University of Singapore, School of Design & Environment, Department of Building, Singapore, Phone +65 8112 5061, sutapa@nus.edu.sg

al., 1997]. Proposed COMASS framework aims to remove this deficiency. It is a decision enhancement tool applicable for part or whole of a new or existing building to select the best strategy to 'design out' defects.

2 Maintainability prediction & integration techniques

Maintainability should not be confused with maintenance. The first one is a strategic design parameter and the latter is its result [Blanchard et al, 1995]. It is the ability of an item to perform to the required standard, provided proper maintenance is done [BS 3811]. For the present study, maintainability prediction and multiple criteria decision analysis (MCDA) techniques to integrate major building elements into COMASS were considered relevant.

NUS researchers have evaluated façade and wet area maintainability by analyzing associated defects for causes (design, construction, maintenance and environment) [Chew & De Silva, 2003; Chew & Tan, 2004] Risk factors were graded by: (1) ease of rectification; (2) impact on performance; (3) tendency to aggravate and (4) tendency to cause new defect. The risk factors were used as inputs in artificial neural network (ANN) to generate maintainability score (MS). Both objective parameter of technical feasibility and subjective parameters such as financial, social, and legal aspects [Spedding et al., 1995] guide maintainability decisions, ANN is not suitable for such evaluations [Goh, 1998]. Hence maintainability theories from system engineering were explored.

Major maintainability tools focused on system failure are Fault Tree Analysis, Fishbone Diagram, Failure Mode Effect and Criticality Analysis (FMECA) and Total Quality Management. Among all, FMECA is most suitable for buildings [Talon et al., 2008]. First a system is divided into components and sub-components to identify all possible defects. Next defect criticality is rated by qualitative or quantitative method involving frequency and severity. For risk priority number (RPN), detection probability is also considered [Dhillon, 2006].

For integration, Analytic Hierarchy Process (AHP) was reviewed. Many researchers have used AHP to set priority for maintenance resource allocation (Shohet & Perelstein, 2004) and holistic sustainability grading (Chew & Das, 2008) due its ability to handle unstructured MCDA problems with both objective and subjective parameters, lucid output, group decision making and tolerance to normal inconsistency to certain extent (≤10%). AHP assess alternatives w.r.t. criteria and sub-criteria to achieve a goal. First, pair-wise comparisons are made in 9-point scale between the criteria w.r.t. goal in a reciprocal

matrix form. Next the sub-criteria are judged w.r.t. its preceding criteria and so on unless this process reaches down to the lowest level [Saaty, 2001].

3 Methodology

This research focused on commercial buildings and major building systems and services maintained by central facility management. The elements or subsystems were grouped under two main systems, civil- architectural (C&A - basement, façade, wet area and roof) and mechanical-electrical (M&E - sanitary-plumbing, HVAC, elevator, electrical and fire protection). The work was conducted in three phases to fulfill the research objectives through three deliverables, namely:

— Defect library: to improve knowledge on building subsystems and defects;

— Maintainability Handbook: to benchmark guidelines for design, construction and maintenance along with MS;

— COMASS: integration of subsystems based on maintainability parameters.

3.1 Defect Library (DL)

As per FMECA rules, the nine subsystems were divided into components. List of associated defects, their causes and effects were noted from literature, site investigation, discussion with building professionals and facility managers (FM) and past maintenance records. The causes were divided into: (1) design/ specification; (2) construction/ installation; (3) maintenance; and (4) external factors, e.g. age, vandalism etc. For the effects or criticality, due to inadequate defect data, qualitative FMECA using RPN concept was used. Considering the research scope and nature of building components, criticality was expressed through defect frequency and severity given by impact on (1) economy; (2) system performance and (3) health, safety and comfort. Severity Index (Sv) and Criticality Index (Cr) were proposed as:

$$Sv = \frac{\overline{X}_{EC} + \overline{X}_{SP} + \overline{X}_{HS}}{3} \text{ and } Cr = \frac{\overline{X}_{FR}}{5} \times \frac{Sv}{5}$$

Where, $\overline{X}_{EC}$, $\overline{X}_{SP}$, $\overline{X}_{HS}$ and $\overline{X}_{FR}$ are the mean rating (out of 5) or weighted average for economic impact, system performance impact, health-safety-comfort impact and defect frequency respectively.

The grading scale for frequency and severity depends on the situation. Here a 5-point scale was selected to suit the 5-point Likert scale of question-

naire. Such structured data collection strategy ensures unbiased and unambiguous response. For frequency, 1= v. rare (once in 10 yrs. or rarer); 2= rare (once in 5 yrs.); 3= occasional (yearly); 4= frequent (quarterly); 5= very frequent (monthly or more frequent). For severity, 1= negligible; 2= slight; 3= moderate; 4= serious; 5= v. serious, hazardous or fatal. In a questionnaire survey, experienced FMs graded the defects in terms of frequency and 3 severity parameters. A critical defect has ≥ 1 of these 4 factors found significant in statistical t-test with 95% confidence interval. The null hypothesis (H_0: $\mu \leq \mu_0$) was tested against the alternative hypothesis (H_1: $\mu > \mu_0$), where μ is the population mean and $\mu_0(=3)$ is critical rating above which a factor was called significant.

3.2 Maintainability Handbook

For each subsystem, guidelines to achieve higher maintainability were developed in the form of defect-mitigating checklist factors based on literature and DL. These factors were grouped under design – construction - maintenance aspects and further sub-grouped under components of the subsystem. Factors' relative weights (RW) are their ability to mitigate both critical and non-critical defects and scores was set as 5= full compliance with the requirements; 1= violation of the same and 0 = factors not applicable. Weighted sum of the MS of each factors indicate MS for individual sub-system. The ideal score ≈ 100%. Using 80-20 rule [Chew & Tan, 2004], RW of i-th factor RW_i is:

$$RW_i = W_i \Big/ \sum_{i=1}^{N} W_i \quad \text{for} \quad W_i = (0.8 \times \sum_{p=i}^{P} Cr_p) + (0.2 \times \sum_{q=i}^{Q} Cr_q)$$

Where, W_i= weight of a factor, N= no. of factors for a subsystem; P, Q = no. of critical and non-critical defects respectively; Cr = criticality index for a defect. This generic formula is applicable to any component or any building phase. In that case RWs of only relevant factors to be renormalized to obtain a new set of RWs.

3.3 COMASS

Figure 1 shows the AHP model for integration of nine subsystems in terms of maintainability. As per problem definition, higher building maintainability was goal and subsystems were at lowest strata. Expert FMs as respondents considered technical viability of subsystems (objective parameter) and business profile (subjective parameter) rely on height and zone respectively. Hence these two were criteria and their different options (mutually exclusive) were sub-criteria. From individual responses, group decision for RW of subsystems was derived as per standard method [Saaty, 2001]. The numeric values matched to grading logic. Weighted sum of MS of subsystem yields MS for the building.

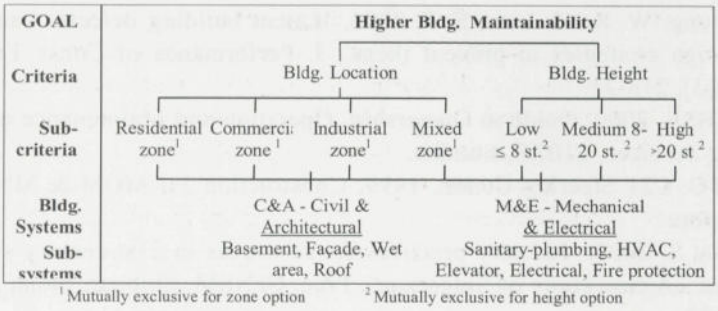


Figure 1: The AHP model to integrate building subsystems into COMASS.

4 Conclusions

The development of COMASS to integrate various phases of building life-cycles and components for optimum maintainability is discussed. Defect-mitigating design-construction-maintenance guidelines were developed. Its two supporting components, namely, Defect Library and Maintainability Handbook can serve as a centralised defect database and benchmark for industry practices respectively. This decision–enhancement tool empowered with a user friendly, performance based online version (`www.hpbc.bdg.nus.edu.sg`) aspires to improve the quality of building industry significantly. The generic method is applicable to other building types and climates. Further refinement with real-life testing, consideration of chain effect of defects to the fullest extent and time-dependent decision making were identified as the scope of future research.

5 References

[1] Blanchard, B.S., Verma, D. & Peterson, E.L. 1995, Maintainability: A Key to Effective Serviceability and Maintenance Management, John Willey, NY.

[2] British Standards Institute 1984, BS 3811: Glossary of Maintenance Management Terms in Terotechnology. Author, London.

[3] Chew, M.Y. L. & Das, S. 2008, 'Building grading systems: A review of the state-of-the-art', Arch Sc. Rev., 50[1], 2-12.

[4] Chew M.Y.L., De Silva, N. 2003, 'Factorial method for performance assessment of building facades', Const Engg & Mgmt, 13[4], 525–33.

[5] Chew, M.Y.L. & Tan, S. S. 2004. 'A multivariate approach to maintenance prediction of wet areas', Const. Mgmt. & Econ. 22[3], 395-407.

[6] Chong, W. K., & Low, S. P. 2006, 'Latent building defects: Causes and design strategies to prevent them', J. Performance of Const. Facilities, 20[3], 213-21.
[7] CIBSE. 2000, Guide to Ownership, Operation and Maintenance of Building Services, CIBSE, London.
[8] CTC: C21 Steering Comm. 1999, Construction 21, MOM & MND: Singapore.
[9] Das, S. 2007. 'Industry practices & techniques in 21st century construction - A case study of Singapore', Proc. CeNEM, Shibpur, India, January, 2007.
[10] De Silva, N., Dulaimi, M. F., Ling, F. Y. Y., & Ofori, G. 2004, 'Improving the maintainability of buildings in Singapore', Bldg. & Environ., 39[10], 1243-51.
[11] Dhillon, B.S. 2006, Maintainability, Maintenance and Reliability for Engineers, Taylor & Francis, New York.
[12] Goh, B.H. 1998, 'Forecasting residential construction demand in Singapore: A comparative study of the accuracy of time series, regression and artificial neural network techniques', Engg Const & Arch Mgmt, 5[3], 261-75.
[13] Korka, J.W., Oloufa, A.A. & Thomas, H.R. 1997, 'Facilities computerized maintenance management systems', J. Arch. Engg, 3[3], 118 -23.
[14] Shohet, I.M. & Perelstein, E. 2004, 'Decision support model for the allocation of resources in rehabilitation projects', J. Const Engg Mgmt, 130[3/4], 249-57.
[15] Spedding, A., Holmes, R. & Shen, Q.P. 1995, 'Priority planned maintenance in county authorities'. Proc. Int. Conf on Planned Maintenance, Rehabilitation, Reliability and Quality Assurance, Cambridge, UK.
[16] Saaty, T. L. 2001, Decision Making for Leaders: The Analytic Hierarchy Process for Decisions in a Complex World (3rd ed), RWS Publications, Pittsburgh.
[17] Talon, A., Chevalier, J-L. & Hans, J. 2006, Failure Modes Effects & Criticality Analysis Research for and Application to the Bldg. Domain, CIB: Rotterdam.
[18] Tay, L. 2006, 'Strategic facilities management of Suntec Singapore International Convention and Exhibition Centre', Facilities, 24[3/4], 120-31.

BIBLIOTECA F.E. PORTO



PATROCÍNIOS | PATROCINIOS

APOIOS | APOYOS

FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO
BIBLIOTECA
0000101748

PATORREB 2009
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - Departamento de Engenharia Civil
Rua Dr. Roberto Frias - 4200-465 PORTO
Tel.: +351 225 081 478 Fax: +351 225 081 940 E-mail: patorreb2009@fe.up.pt