

MODEL CHECKER – VERIFICAÇÃO AUTOMÁTICA DE MODELOS BIM

Paulo Rodrigues ⁽¹⁾, João Moura ⁽¹⁾ e João Fonseca ⁽¹⁾

(1) Quadrante Engenharia e Consultoria, S.A.

Resumo

A verificação da qualidade dos modelos BIM continua a ser um grande desafio na implementação eficaz de Standards e boas práticas, mesmo quando estes se encontram claramente definidos. Com o objetivo de reforçar esse controlo, foi desenvolvido internamente pela nossa equipa de desenvolvimento o **QD Model Checker**. Este add-in é uma ferramenta interna para Autodesk Revit desenvolvida em C# e desenhada para automatizar a validação de modelos de acordo com os BIM Standards da empresa e boas práticas de modelação nacionais e internacionais. A ferramenta permite a realização de testes automáticos que identificam inconformidades nos modelos, fornecendo ao utilizador efetivo um feedback imediato sobre os elementos a corrigir. Os dados obtidos são arquivados numa base de dados interna e tratados em painéis de controlo desenvolvidos em Power BI, permitindo uma monitorização contínua da qualidade dos modelos por projeto, departamento, especialidade ou equipa. Esta abordagem torna possível, entre outros aspetos, identificar tendências de erros, apoiar a tomada de decisão por parte dos Project Managers e planear ações de formação específicas com base em dados concretos. O presente artigo descreve a metodologia adotada para integrar o **Model Checker** nos processos internos da nossa organização, ilustrando como esta ferramenta contribui de forma direta para a melhoria contínua da qualidade dos modelos produzidos e para a consolidação da cultura BIM, bem como no rigor que é disponibilizado aos nossos Clientes e que esta metodologia potencia.

1. Introdução

A adoção do BIM transformou profundamente os processos de projeto e coordenação em engenharia e arquitetura. No entanto, a maturidade digital de uma organização não depende exclusivamente da utilização de modelos tridimensionais ou da interoperabilidade entre disciplinas. Depende da capacidade de estruturar, validar e consolidar informação de forma sistemática e mensurável.

Mesmo quando os BIM Standards se encontram claramente definidos, a sua aplicação prática enfrenta desafios recorrentes: interpretações divergentes, inconsistências entre especialidades, variações na estrutura dos modelos e ausência de mecanismos objetivos de validação contínua.

A necessidade de garantir qualidade técnica consistente nos modelos produzidos e a existência de várias aplicações já desenvolvidas, levou à criação de um **Integrated BIM Information Management Environment**, concebido como infraestrutura digital centralizada, capaz de integrar produção de modelos, validação, quantificação e análise de dados.

No âmbito desse ambiente integrado, foi desenvolvido um **Model Checker**, um add-in para Autodesk Revit que permite transformar standards internos em testes automáticos executáveis. O objetivo principal da ferramenta é garantir qualidade e consistência estrutural nos modelos produzidos, assegurando compliance com regras internas e coerência entre múltiplos modelos do mesmo projeto.

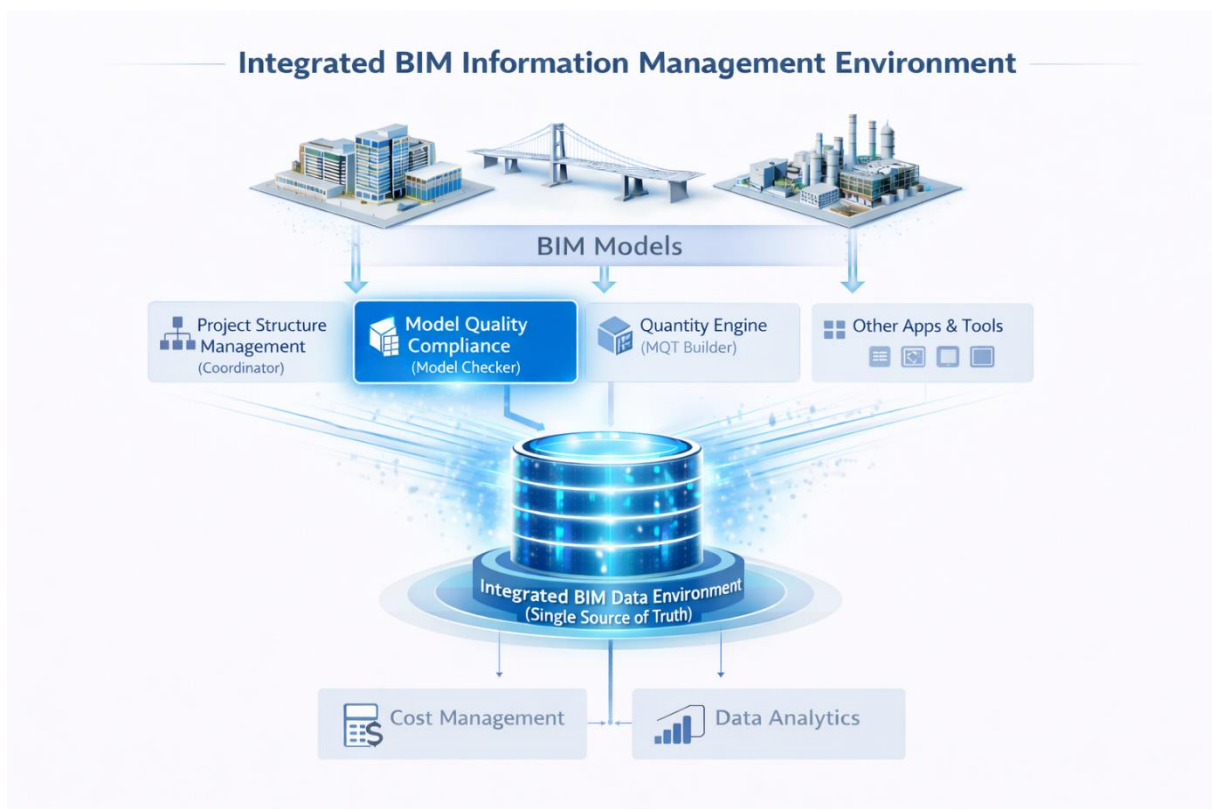


Figura 1: Arquitetura conceptual do iBIM na organização.

A estrutura representa a integração dos modelos BIM com diferentes módulos funcionais – gestão de estrutura de projeto, validação de qualidade (Model Checker), motor de quantificação e outras aplicações – convergindo para um ambiente central de dados (“Single Source of Truth”), que suporta gestão de custos e análise avançada de dados.

2. Integrated BIM Information Management Environment

O ambiente integrado foi concebido como uma infraestrutura digital centralizada, estruturada segundo um modelo relacional normalizado que organiza a informação segundo as seguintes entidades:

- Projetos
- Fases
- Zonas
- Especialidades
- Modelos
- Resultados de validação
- Quantidades
- Métricas operacionais

Cada modelo inserido no sistema recebe um identificador único (Model ID), que funciona como elemento agregador de todos os registos de validação, histórico de execução, métricas de desempenho e informação contextual. O Model ID encontra-se formalmente associado ao seu Projeto, Fase e Especialidade, garantindo rastreabilidade integral e integridade referencial entre entidades.

Esta arquitetura permite estruturar um ambiente de dados único (Single Source of Truth), no qual todas as validações e indicadores convergem para uma base de dados central. A persistência estruturada dos resultados possibilita consultas multidimensionais e análises transversais por projeto, departamento ou período temporal.

A consolidação sistemática destes dados permite transformar qualidade BIM num indicador mensurável, comparável e auditável. A validação deixa de ser um evento isolado e passa a integrar um ecossistema contínuo de gestão da informação.

Neste contexto, o Model Checker constitui a camada de validação técnica do sistema, garantindo que a informação que alimenta o ambiente comum de dados é estruturalmente consistente, semanticamente coerente e tecnicamente verificável.

3. Motivação para o Desenvolvimento

O desenvolvimento do Model Checker resultou da identificação de duas necessidades críticas no contexto da maturidade BIM da organização: garantir aplicação consistente de standards internos e assegurar coerência estrutural entre modelos multidisciplinares.

Apesar da existência de BIM Standards claramente definidos, a sua aplicação dependia essencialmente de verificação manual, sujeita a interpretações divergentes e variabilidade entre equipas. A ausência de mecanismos automáticos de validação dificultava a uniformização da informação e comprometia automatismos internos baseados em nomenclaturas e classificações estruturadas.

A necessidade de transformar regras documentais em validações executáveis tornou-se um requisito estratégico para garantir consistência técnica mensurável.

3.1 Aplicação de BIM Standards Internos

Os standards internos abrangem estrutura de parâmetros, sistemas de classificação (ex. Uniclass), naming conventions, regras específicas por especialidade e estrutura formal de níveis, grids e fases.

Foram identificadas inconsistências frequentes na nomenclatura de famílias, ausência de parâmetros obrigatórios e classificações incompletas. Estas variações inviabilizavam automatismos programados em C# e comprometiam processos de quantificação automática.

O Model Checker transforma estes standards em testes automáticos executáveis diretamente no modelo, eliminando ambiguidades interpretativas e reduzindo variabilidade técnica entre equipas.

3.2 Coordenação Estrutural Multimodelo

Num projeto multidisciplinar coexistem múltiplos modelos (arquitetura, estruturas, instalações, entre outros). Para além da coordenação geométrica, é essencial assegurar coerência estrutural transversal.

Foram definidos testes automáticos para validar:

- Georreferenciação consistente entre modelos;
- Coincidência exata de níveis;
- Coincidência exata de grids;
- Estrutura de fases comum entre especialidades.

Esta camada de validação estrutural reduz riscos de desalinhamento que frequentemente originam retrabalho significativo nas fases de coordenação e consolidação.

4. Arquitetura Técnica do Model Checker

O Model Checker foi desenvolvido em C# como plugin nativo para Autodesk Revit, garantindo integração direta no ambiente de modelação e acesso estruturado à API do software.

A arquitetura da aplicação foi concebida segundo uma estrutura modular composta por três camadas principais:

1. Camada de leitura e interpretação do modelo ativo, responsável por extrair dados estruturais, parâmetros e propriedades dos elementos;
2. Motor de validação, onde se encontram implementados os testes de compliance organizados por categorias;
3. Camada de persistência, responsável pela geração de relatório e registo dos resultados na base de dados central.

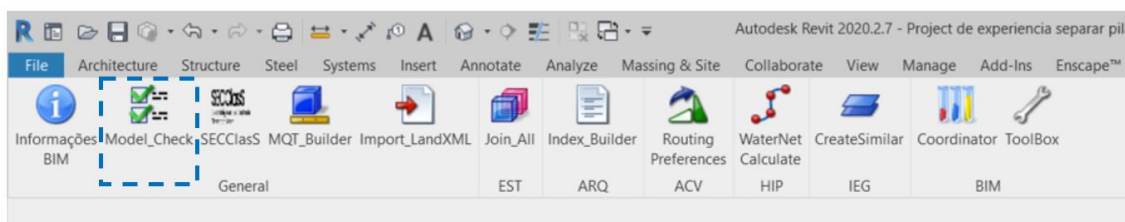


Figura 2: Ribbon de acesso a várias aplicações e ao Model Cheker.

Atualmente, o sistema integra aproximadamente vinte testes automáticos distribuídos por diferentes categorias. Cada teste encontra-se implementado como módulo independente, permitindo escalabilidade e inclusão futura de novos checksets sem alteração estrutural da aplicação.

O processo de execução envolve:

- Leitura estruturada do modelo ativo;
- Aplicação sequencial dos testes definidos;
- Geração de resultados individuais por teste;
- Cálculo de score global de conformidade;
- Geração automática de relatório em formato .txt;
- Registo integral dos resultados na base de dados central.

O score global resulta da agregação dos resultados individuais, refletindo o grau de conformidade do modelo com os standards internos e critérios estruturais definidos. Cada execução fica associada ao Model ID, projeto, fase, utilizador e *timestamp*, assegurando rastreabilidade integral.

A validação deixa, assim, de constituir uma verificação pontual e passa a integrar um sistema estruturado de controlo técnico com histórico persistente e análise longitudinal.

5. Estrutura dos Testes de Compliance de Qualidade

Os testes de compliance foram estruturados em três categorias principais, refletindo diferentes níveis de criticidade no processo de produção BIM: conformidade com standards internos, validação técnica de modelação e coordenação estrutural multimodelo.

Atualmente, o sistema integra aproximadamente vinte testes automáticos distribuídos pelas três categorias, permitindo avaliação multidimensional da qualidade do modelo.

5.1 Compliance com Standards internos

Esta categoria verifica conformidade com regras formais definidas nos BIM Standards internos, incluindo:

- Presença e preenchimento de parâmetros obrigatórios;
- Classificação segundo sistema adotado (ex. Uniclass);
- Naming conventions estruturadas, internas ou por exemplo ISO-19650;
- Estrutura formal de dados por tipologia.

A validação é realizada ao nível de elemento ou tipo de família, sendo o resultado expresso como percentagem de conformidade relativamente ao universo analisado. Estes testes garantem consistência semântica da informação e suportam automatismos baseados em nomenclatura padronizada.

5.2 Validação técnica de modelação

Esta categoria incide sobre coerência técnica da modelação, incluindo:

- Elementos sem fase corretamente atribuída;
- Inconsistências entre fase criada e demolida;
- Elementos não associados a níveis válidos;
- Incoerência entre categoria e atributos críticos.

Estas validações previnem inconsistências que podem comprometer exportações IFC, quantificação automática e processos de coordenação subsequentes.

5.3 Coordenação Multimodelo

Esta categoria constitui um dos principais diferenciais da solução desenvolvida. Para além da coordenação geométrica tradicional, são executados testes automáticos de coerência estrutural entre modelos, incluindo:

- Georreferenciação consistente;
- Coincidência exata de níveis;
- Coincidência exata de grids;
- Estrutura de fases comum entre especialidades.

Ao garantir alinhamento estrutural transversal, reduz-se significativamente o risco de desalinhamentos acumulativos que frequentemente originam retrabalho nas fases avançadas de coordenação.

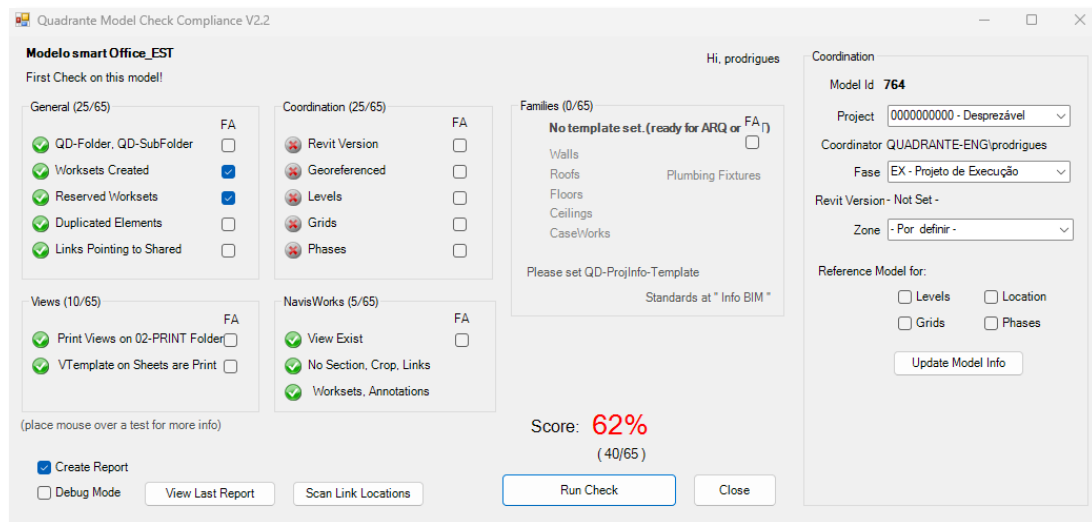


Figura 3: Interface de resultados da Qualidade do modelo.

6. Persistência de Dados e Relatórios

Cada execução do Model Checker gera dois níveis de output distintos: um relatório legível para o utilizador e um registo estruturado persistente na base de dados central. O relatório em formato .txt inclui:

- Identificação do projeto e fase;
- Identificação do modelo (Model ID);
- Data e utilizador;
- Lista detalhada de testes executados;
- Resultado individual por teste;
- Score global de conformidade.

O relatório apresenta estrutura organizada por categorias de validação, permitindo ao utilizador identificar rapidamente inconformidades e proceder à sua correção.

Simultaneamente, todos os resultados são armazenados em base de dados SQL central. Cada execução constitui um registo independente associado ao Model ID, projeto, fase, utilizador e *timestamp*. O sistema mantém histórico completo de execuções, não substituindo registos anteriores.

Esta persistência estruturada assegura rastreabilidade integral e permite análise longitudinal da maturidade técnica dos modelos ao longo do ciclo de vida do projeto. A consolidação histórica dos dados possibilita comparação entre versões sucessivas, identificação de padrões recorrentes de erro e monitorização da evolução da conformidade.

A validação deixa assim de ser um evento isolado e passa a integrar um sistema contínuo de controlo técnico baseado em dados.

7. Monitorização Analítica

Os resultados armazenados na base de dados central alimentam dashboards analíticos desenvolvidos em Power BI, estruturados para permitir análise multidimensional da qualidade dos modelos BIM.

Os dados são organizados segundo múltiplas dimensões — projeto, fase, especialidade, utilizador e período temporal — possibilitando cruzamentos analíticos e comparação transversal.

Entre os principais indicadores monitorizados destacam-se:

- Score médio de conformidade por projeto;
- Score médio por divisão ou especialidade;
- Evolução temporal do nível de compliance;
- Percentagem média de conformidade por categoria de teste;
- Identificação de testes com maior taxa de inconformidade.

A monitorização longitudinal permite avaliar evolução da qualidade ao longo do tempo, medir impacto de ações de formação e identificar tendências recorrentes de erro.

A qualidade BIM deixa assim de constituir uma perceção subjetiva e passa a ser tratada como indicador mensurável e comparável, integrado num sistema de gestão baseado em dados.

Esta abordagem suporta decisões estratégicas, incluindo definição de planos de capacitação direcionados, revisão de standards internos e acompanhamento da maturidade digital da organização.

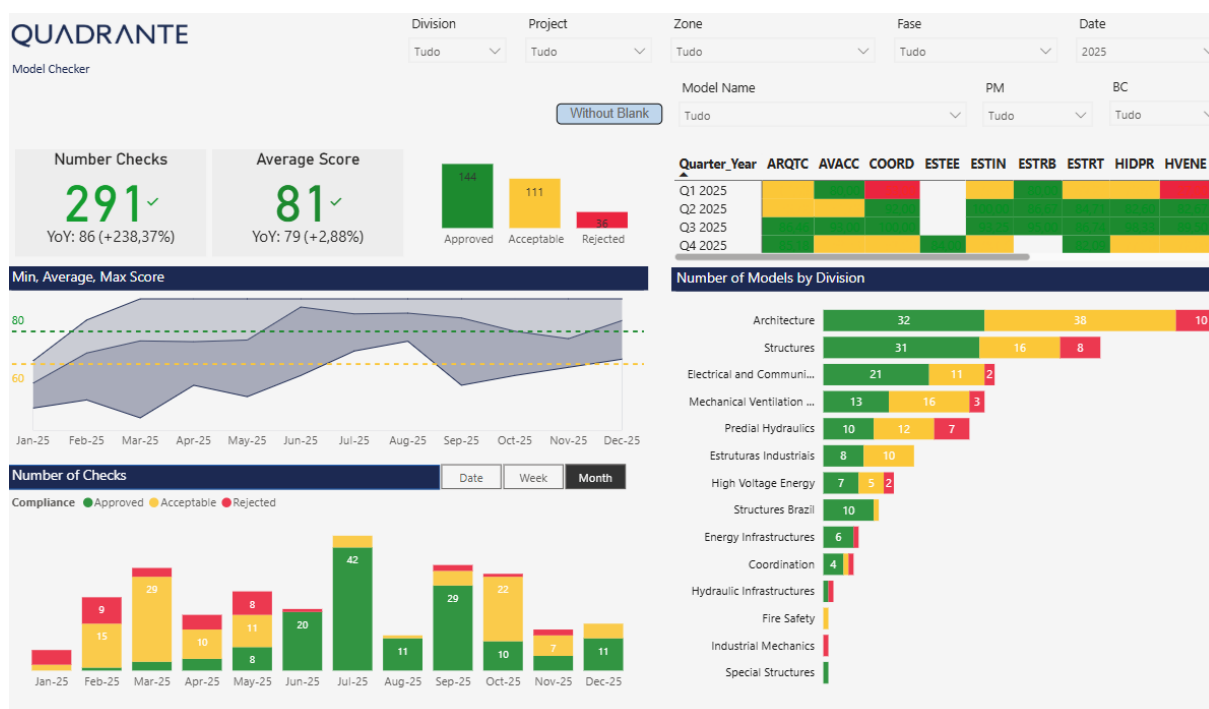


Figura 4: Indicadores *live* à Base de Dados BIM com resultados da Qualidade.

8. Roadmap: Validação Contínua

A evolução prevista para o Model Checker passa pela transição de validação manual para um modelo de validação contínua integrada no ciclo regular de produção BIM.

Está planeada a implementação de execuções automáticas recorrentes, com periodicidade configurável, permitindo que modelos ativos sejam validados independentemente da intervenção direta do utilizador. Esta abordagem reduz risco de acumulação de inconformidades e promove correção atempada.

Adicionalmente, encontra-se prevista integração com mecanismos automáticos de alerta, notificando responsáveis sempre que o nível de conformidade desça abaixo de limiares definidos.

A médio prazo, está igualmente prevista integração com o Ambiente Comum de Dados (CDE), permitindo que a validação constitua etapa formal no processo de submissão e aceitação de modelos.

O objetivo estratégico desta evolução é transformar o controlo de qualidade de um mecanismo predominantemente reativo num sistema preventivo e contínuo, alinhado com princípios de gestão digital estruturada da informação.

9. Extensão Via Api

Encontra-se em desenvolvimento uma extensão programática do Model Checker através de API, com o objetivo de permitir execução descentralizada dos testes de compliance mantendo controlo centralizado dos critérios de validação.

Esta extensão permitirá que entidades externas e subcontratados executem os mesmos testes antes da submissão formal dos modelos, assegurando alinhamento prévio com os BIM Standards internos da organização.

A arquitetura prevista baseia-se numa interface programática estruturada que permitirá submissão de modelo, execução automatizada dos checksets definidos e retorno de resultados em formato estruturado. Esta abordagem garante consistência técnica independentemente do local de execução.

Ao disponibilizar os mesmos critérios de validação ao longo da cadeia de produção BIM, promove-se uniformização interorganizacional, redução de retrabalho e mitigação de riscos associados a interpretações divergentes de standards.

A validação deixa assim de ser um mecanismo interno de controlo e passa a constituir um protocolo técnico partilhado no ecossistema do projeto.

Embora atualmente desenvolvido sobre a API do Revit, o modelo conceptual da solução encontra-se desacoplado da plataforma de autoria, permitindo evolução futura para integração com outros softwares BIM através de formatos abertos como IFC e interfaces programáticas adicionais. Esta abordagem reforça o alinhamento com princípios Open BIM e amplia o potencial de aplicabilidade em ecossistemas digitais mais diversos.

10. Impacto Organizacional

A implementação do Model Checker produziu impactos estruturais na organização, ultrapassando a dimensão puramente técnica da validação de modelos.

Em primeiro lugar, promoveu uniformização consistente das práticas de modelação, reduzindo variabilidade interpretativa na aplicação dos BIM Standards e assegurando coerência estrutural entre equipas e especialidades.

Em segundo lugar, permitiu detetar inconformidades em fases precoces de desenvolvimento, mitigando riscos de desalinhamento multidisciplinar e reduzindo retrabalho em fases avançadas de coordenação.

Adicionalmente, a consolidação dos resultados em base de dados estruturada introduziu uma nova abordagem à gestão da qualidade. A qualidade BIM deixou de ser percecionada de forma subjetiva e passou a constituir indicador mensurável, comparável e monitorizável ao longo do tempo.

Esta transformação fomentou uma cultura organizacional orientada a dados, suportando decisões estratégicas baseadas em evidência e contribuindo para consolidação da maturidade digital da organização.

Do ponto de vista organizacional, destaca-se como principal lição aprendida a importância de alinhar a definição de standards com a sua operacionalização técnica. A existência de regras documentais não garante, por si só, a sua aplicação consistente, sendo essencial a sua tradução em mecanismos automáticos de validação. Adicionalmente, a adoção da ferramenta evidenciou a necessidade de capacitação contínua das equipas e do envolvimento de key users como facilitadores do processo de mudança.

A ferramenta deixou assim de ser apenas um mecanismo de verificação técnica e passou a integrar a infraestrutura de gestão estruturada da informação BIM.

Embora a quantificação detalhada de retorno de investimento (ROI) se encontre ainda em fase de consolidação, os primeiros resultados indicam uma redução significativa do esforço de

verificação manual e uma diminuição do retrabalho em fases avançadas de coordenação. A automatização da validação permite antecipar a deteção de inconformidades, contribuindo para ganhos indiretos ao nível da eficiência produtiva e da qualidade final dos modelos entregues.

11. Conclusão

A implementação eficaz de BIM Standards não depende exclusivamente da sua definição formal, mas da capacidade de os transformar em mecanismos objetivos de validação executável. A ausência de controlo estruturado conduz inevitavelmente a variabilidade técnica, inconsistências estruturais e perda de fiabilidade analítica.

O Model Checker apresentado neste artigo materializa a transição de standards documentais para testes automáticos integrados no ambiente de modelação, assegurando conformidade técnica verificável. A integração com base de dados central, persistência histórica e monitorização analítica transforma a validação num processo contínuo e mensurável.

Para além da verificação local de modelos, a solução introduz uma camada de coordenação estrutural multimodelo e evolui para um ecossistema digital extensível através de API, promovendo uniformização ao longo da cadeia de produção BIM.

Apesar do carácter proprietário da solução, a abordagem metodológica adotada — baseada na tradução de BIM Standards em testes automáticos estruturados — apresenta potencial de generalização. A sistematização dos critérios de validação poderá, em desenvolvimentos futuros, ser parcialmente formalizada e partilhada como base para definição de padrões abertos de verificação de qualidade BIM.

A qualidade deixa assim de ser uma verificação pontual e passa a constituir indicador estruturado de maturidade digital. Garantir qualidade passa a significar estruturar consistência. Estruturar consistência significa consolidar gestão digital sustentável da informação.

Referências

- [1] Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K., *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers*, Wiley, 2018.
- [2] Solihin, W., & Eastman, C., “Classification of rules for automated BIM rule checking development,” *Automation in Construction*, vol. 53, pp. 69–82, 2015.
- [3] Nawari, N.O., “Automated compliance checking in building design,” *Automation in Construction*, vol. 23, pp. 11–20, 2012.
- [4] buildingSMART International, “Information Delivery Specification (IDS),” Technical Documentation, latest version.
- [5] Autodesk, “Autodesk Model Checker for Revit – Technical Documentation.”
- [6] Solibri, “Solibri Office – Model Checking and Validation,” Product Documentation.