

ESTUDO PILOTO DO RESIL - PROCEDIMENTO METODOLÓGICO AUXILIADO PELO BIM PARA AVALIAR A FLEXIBILIDADE DE EDIFÍCIOS MULTIFAMILIARES

Sandra Ribeiro⁽¹⁾, Heitor Silva⁽²⁾, Hugo Farias⁽³⁾

(1) UFRN, Natal, 0000-0001-9851-1009

(2) UFRN, Natal, 0000-0003-2651-1012

(2) ULISBOA, Lisboa, 0000-0001-9346-4039

Resumo

A resiliência no ambiente construído requer edificações aptas a otimizar o seu uso e manter o seu ciclo de vida funcional de modo sustentável, a fim de evitar a sua obsolescência. Tais construções devem apresentar certos atributos, como a flexibilidade, que lhes confere a capacidade de adaptação e transformação frente às demandas em constante evolução. Nesse contexto, o presente manuscrito apresenta o Resil, um procedimento metodológico auxiliado por BIM e Programação visual para avaliar a flexibilidade em edifícios multifamiliares, por meio da sua aplicação em um estudo-piloto. O artefato proposto foi desenvolvido em três etapas interativas: (a) Análise: baseia-se na revisão da literatura para a identificação de critérios avaliativos, indicadores, categorias analíticas, métricas e parâmetros, além da coleta de dados e seleção de projetos; (b) Síntese: consiste na construção, implementação e revisão do Resil, com parametrização e testagem dos critérios; e (c) Avaliação: refere-se à discussão sobre a funcionalidade, aplicabilidade e utilidade do Resil, como meio de análise e avaliação de projetos em BIM. Os resultados demonstram a eficácia da proposição em automatizar a verificação desse atributo com métricas claras, integrando o papel do avaliador. A investigação contribui para o processo de projeto em BIM, visando o fomento de habitats e, consequentemente, de cidades mais resilientes e sustentáveis. O estudo prosseguirá com a aplicação do Resil em edifícios de referência no Brasil e em Portugal, com intuito de encontrar soluções exemplares e direcionamentos projetuais.

1. Introdução

O interesse pela resiliência no ambiente construído tem crescido substancialmente nas últimas décadas [1]. No contexto da habitação, tal conceito impulsiona a qualidade e sustentabilidade por meio de diferentes atributos [2], como a flexibilidade que representa de modo sustentável a capacidade de adaptação e transformação do edifício diante das demandas em constante evolução ao longo do seu ciclo de vida [3]. Apesar da expansão deste tema, existem lacunas na literatura. Destaca-se, dentre essas, a necessidade de estudos que fomentem orientações

projetuais – em termos espaciais, formais e funcionais [4] - e que formulem instrumentos inovadores de avaliação e análise de projetos [5]. Posto isto, observa-se o potencial do BIM em automatizar o processo avaliativo, o que inclui a verificação da flexibilidade no projeto arquitetónico [6].

Neste âmbito, o presente artigo, que compõe uma das etapas de uma investigação de doutoramento em curso, apresenta o “Resil”, um procedimento metodológico auxiliado por BIM para avaliar a flexibilidade em edifícios multifamiliares, por intermédio de um estudo-piloto. Este trata-se de um projeto arquitetónico contemporâneo, destacado pelos seus autores pela sua capacidade de se ajustar e reconfigurar ao longo do tempo. Com este propósito, o artigo demonstra os resultados e o funcionamento do Resil, que ocorre num ambiente digital, utilizando dados geométricos e não geométricos e combinando ferramentas de autoria de modelos e de linguagem de programação visual. Apresenta, ainda, um breve relato sobre como foi elaborado o artefato e detalha o seu fluxo de trabalho, enfatizando os processos, as atividades, os critérios de avaliação, métricas e os recursos que o suportam. Os próximos tópicos do artigo abordam, a elaboração e fluxo do Resil, seguido do estudo-piloto e de considerações finais.

O caminho metodológico percorrido fundamenta-se em três etapas. A primeira, “Análise”, deu-se pela Revisão Sistemática da Literatura, que inclui o levantamento de indicadores de desempenho, categorias analíticas, critérios avaliativos, métricas, ferramentas digitais, requisitos e o mapeamento de processos. Adicionalmente, abrange a recolha de dados, contemplando a seleção de projetos para testagem e estudos-piloto. Devido à limitação de páginas deste artigo, apresenta-se apenas um estudo-piloto. A segunda etapa, “Síntese”, consiste na construção, implementação e revisão do Resil. É de salientar que essas etapas ocorreram de modo iterativo, com a sobreposição de ações e diversos ciclos de tentativa e erro, sobretudo durante a parametrização dos critérios elencados. Adicionalmente, neste estágio da investigação, todos os critérios se encontram parametrizados e testados. A terceira etapa, “Avaliação”, contém uma breve discussão sobre a funcionalidade do Resil, especialmente no que diz respeito à sua aplicabilidade no estudo-piloto e à sua utilidade como meio avaliativo de projeto, tomando nota do seu potencial e limitações.

2. Resil

2.1 Elaboração

A elaboração do Resil teve como ponto de partida a revisão sistemática da literatura sobre a flexibilidade na arquitetura [7], no contexto da habitação [8,9,10] e da resiliência do ambiente construído [11,12,13], o que resultou na identificação de características e estratégias projetuais, transformadas em 30 critérios avaliativos. Estes manifestam-se como um guia de avaliação, sendo agrupados em indicadores de desempenho, sendo eles: A-Adaptação; B-Ampliação; C-Diversidade; D-Junção e desmembramento; E-Personalização; F-Circularidade; G-Difusão do conhecimento.

Os indicadores de A a F estão relacionados com as partes constituintes do edifício, tomando como base cinco categorias: 1-Terreno; 2-Circulação; 3-Organização espacial; 4-Tecnologia; 5-Caixa Mural. Tais ordenações derivaram do entendimento das camadas propostas por Brand [14] e das categorias analíticas de Ching [15], Baker [16], Clark e Pause [17] e Taglari [18]. Uma sexta divisão (6-Independente) foi incluída a fim de contemplar o indicador G cujos

aspectos não se encaixam na perspectiva da edificação. Outrossim, a associação entre os indicadores e as categorias permitiu a formulação de uma matriz de análise (Figura 1), que revela onde cada critério é aplicado.

CATEGORIAS ANALÍTICAS	INDICADORES DE FLEXIBILIDADE							CLASSE DE FLEX.
	A-Adaptação	B-Ampliação	C-Diversidade	D-Junção e desmembramento	E-Personalização	F-Circularidade	G-Independente	
1 - Terreno		1						Nem um pouco flexível (0)
2 - Circulação	2	2	1	1				Pouco flexível (10-30%)
3 - Organização espacial	2	2	3	1	2			Flexibilidade limitada (>30-60%)
4 - Tecnologia	4			2	1	2		Muito flexível (>60%)
5 - Caixa Mural	1				1			Muito flexível (>60%)
6 - Difusão do conhecimento							2	Nem um pouco flexível (0)
Nº total de critérios	9	5	4	4	4	2	2	
CLASSE DE FLEX.	Nem um pouco flexível (0)	Nem um pouco flexível (0)	Nem um pouco flexível (0)	Nem um pouco flexível (0)	Nem um pouco flexível (0)	Nem um pouco flexível (0)	Nem um pouco flexível (0)	



Figura 1: Matriz de análise

Observou-se que os critérios avaliam uma miríade de variáveis que, quando quantificadas, resultam em números muito distintos, tornando pertinente o uso de uma faixa de valoração a qual indica um juízo de valor, em vez de atribuir apenas um ponto a cada critério. Nesse sentido, foi adotada e adaptada a escala de avaliação do FLEX 4.0, um instrumento prático para avaliar a capacidade adaptativa dos edifícios na Holanda [3]. Assim, cada um dos 30 critérios é avaliado, variando de 0 a 3 pontos, onde cada valor corresponde a uma percentagem de cumprimento do projeto, sendo: 0 = Não atende; 1 = 10 a 30% atende; 2 = > 30-60% atende; 3 = >60% atende. Todavia, em alguns critérios, esse padrão sofreu pequenos ajustes.

Igualmente, as classes de flexibilidade do FLEX 4.0 [3] foram empregadas e reestruturadas. Desse modo, o somatório dos critérios vinculados à categoria analítica ou ao indicador eleito determina a classe de flexibilidade (Figura 1), que varia de Nem um pouco flexível (0), Pouco flexível (10-30%), Flexibilidade limitada (>30-60%), e Muito flexível (>60%). Para exemplificar, o indicador A-Adaptação, que possui nove critérios e uma escala de 0 a 27 pontos; caso um projeto obtenha 10 pontos, atingirá o patamar de 37%, classificando-se como Flexibilidade Limitada. Considerando ainda que o número de critérios difere em todas as categorias e indicadores, pesos distintos foram determinados para obter uma mesma faixa (0 a 6), o que possibilita compará-los e representá-los em um único gráfico radar. Todavia, o perfil final de flexibilidade do edifício é dado pela soma integral dos critérios, independentemente da aplicação desses pesos.

Para cada critério, foi elaborada uma proposta de algoritmização com a finalidade de convertê-lo em um algoritmo executável no ambiente BIM. Assim, adotou-se o procedimento de Godoi [19], o qual delineia os passos básicos para identificação de variáveis e parâmetros em textos arquitetônicos e sua posterior tradução em sentenças matemáticas. O fluxograma na Figura 2 ilustra uma das propostas.

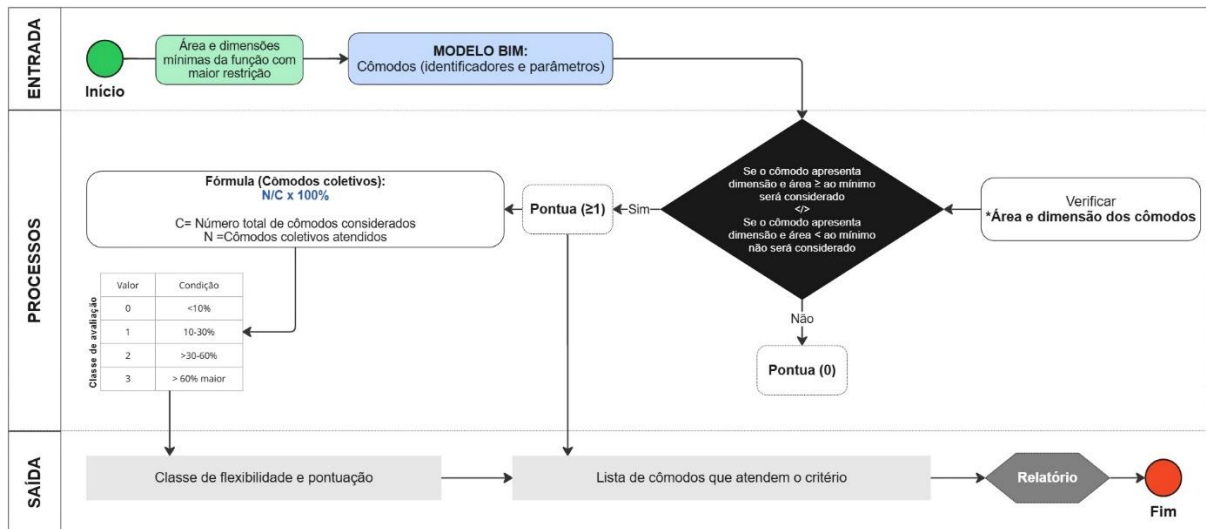


Figura 2: Proposta de algoritmização do critério: Equivalência dimensional e morfológica em cômodos coletivos: Proposição de espaços, com áreas e formas proporcionais, que conferem diferentes funções.

Em síntese, o algoritmo fundamenta-se em três etapas: entrada, processamento e saída. Na entrada, ocorre a seleção (*Input: bool*) do critério, representando o início, mais a definição do “parâmetro analítico”, no exemplo eleito a área e dimensões mínimas da função com maior restrição, e a inserção o modelo BIM. No processamento, com base nos parâmetros de entrada, realiza-se a validação dos dados geométricos, como as dimensões do compartimento, e não geométricos, como nome e categoria de uso dos ambientes. Assim, os dados extraídos do modelo são filtrados, confrontados e submetidos a uma operação matemática que calcula a percentagem de aderência do projeto ao critério elencado. Em seguida, na saída, os resultados são estruturados em duas direções: uma revela a classe de flexibilidade, enquanto a outra lista os itens que atendem ao critério. Ao final, essas informações são consolidadas no relatório. Adicionalmente, o desenvolvimento do Resil envolveu a conversão de cada algoritmo em uma rotina, ou seja, em um *script* dentro do Dynamo - ferramenta de Linguagem de Programação Visual (VLP) acoplada à plataforma BIM – Revit. O conjunto de rotinas foi organizado conforme os indicadores de desempenho e as categorias analíticas. Com essa estruturação, é possível no ambiente digital verificar automaticamente um ou todos os critérios de uma mesma categoria ou indicador. Em paralelo, foram criadas rotinas voltadas a otimizar tarefas nessa plataforma, como a inserção de parâmetros na geometria.

A seleção dos programas mencionados justifica-se pela capacidade de responder aos propósitos da investigação, pela experiência prévia da autora no manuseio e pelo fato de serem disponibilizados gratuitamente pelo fabricante Autodesk para fins acadêmicos. Ademais, o Revit é uma plataforma intuitiva, com interface amigável, e a produção de desenhos no seu ambiente apresenta resultados gráficos notáveis [20]. Por outro lado, os arquivos de rotinas em Dynamo são facilmente partilháveis e ajustáveis a diferentes parâmetros [21], o que facilita o seu uso por parte de investigadores e projetistas que nem sempre têm conhecimentos avançados em programação e capital para adquirir novos recursos digitais.

Acresce-se que a plataforma elencada requer o uso de *template*, isto é, um ficheiro-tipo do programa, selecionado consoante a disciplina. Este pode ser personalizado para incorporar elementos construtivos, componentes de documentação e configurações que otimizem a modelação e o cumprimento dos requisitos [22]. Assim, trata-se de um recurso crucial à

modelação que foi construído nesta investigação a partir do material destinado a projetos de habitação social no contexto brasileiro, de Logsdon e Fabrício [23]. Considerando que estruturar um *template* e a sua biblioteca exige tempo [20], a utilização de outra base otimizou o cronograma de elaboração do Resil.

Por fim, os últimos passos da elaboração do Resil consistiram em: a) revisão das rotinas relacionadas aos critérios a fim de compatibilizá-las com as métricas mencionadas e b) criação de uma rotina mestra que permite a transferência dos resultados numéricos da avaliação no ambiente de modelagem para o Excel. Com esse intuito, foi necessária a criação de um arquivo base no formato XLS, que recebe os dados e os apresenta na forma de relatório, matriz e gráficos, ilustrando o desempenho de cada indicador, categoria e critério verificado. O próximo item detalhará os principais passos do funcionamento do Resil.

2.2. Processos

O funcionamento do Resil é composto por quatro etapas, mediadas pelo uso de aplicativos e de objetos de dados os quais indicam um conjunto de informações estruturadas e separadas como entrada (requisitos) e saída (entregas). O fluxo de trabalho inicia-se com a seleção do projeto e coleta de dados (1), compreendendo o levantamento de material técnico, gráfico e fotográfico. Na posse do conteúdo, é feito o Redesenho (2) em BIM, para gerar planos bidimensionais e o modelo de informação. Esta etapa permite a construção e a desmontagem analítica da obra em análise, e é executada na plataforma BIM, a partir de um *template* (a) próprio. O processo de modelação é otimizado, utilizando rotinas do Dynamo que auxiliam, principalmente, na inserção de parâmetros, e um suplemento de Inteligência Artificial, o “WiseBIM”, que converte instantaneamente planos arquitetônicos 2D - por exemplo, imagens de plantas de piso - em elementos 3D no Revit.

Por meio de percursos virtuais sobre o modelo, resultado da etapa 02, e uso de tabelas e filtros visuais com recursos de cores e transparência, é realizada a Auditoria (3), que consiste na verificação da qualidade do modelo e das suas informações. Nesse sentido, procura-se a identificação de inconsistências, elementos soltos, duplicados ou desconectados e a análise da geometria. Ao mesmo tempo, os parâmetros são conferidos, julgando-se se estão corretos, ausentes ou inseridas de maneira incorreta. Tais falhas podem comprometer a avaliação. Caso o resultado da auditoria seja negativo, é necessário reconhecer os erros e/ou omissões, voltar à etapa anterior e realizar correções. Em caso positivo, inicia-se a próxima e última etapa.

A Avaliação (4) é conduzida dentro da plataforma BIM por intermédio da aplicação do conjunto de rotinas, intitulado aqui de Resil 1.0 (b). Neste, o primeiro passo é o preenchimento do nome do empreendimento. O segundo é escolher a categoria analítica ou indicador, depois selecionar os critérios que se deseja avaliar, definir o arquivo e o caminho onde será salvo o relatório final e pressionar o “play”, o qual ativa as rotinas relacionadas com os critérios marcados. Embora o instrumento proporcione agilidade e a otimização do processo avaliativo, certas ações manuais e verificações visuais sobre o modelo são necessárias.

Algumas dessas tarefas são facilitadas pela aplicação de filtros que destacam, a título de ilustração, as áreas de circulação vertical e horizontal e áreas com instalações hidrossanitárias. Apesar das particularidades mencionadas, a avaliação é majoritariamente automatizada com o uso do conjunto de rotinas - Resil 1.0 (b). Ao final, é emitido o relatório com os resultados em forma de matriz, gráficos de barra, pizza e radar, além de números que expressam o desempenho atingido por cada indicador, categoria e critério escolhido. Para exemplificar o funcionamento

do procedimento Resil, o próximo tópico demonstra o estudo piloto realizado nesta etapa da investigação.

3. Estudo-Piloto

Durante o desenvolvimento do procedimento Resil, foram realizados testes em pilotos (projetos), com o intuito de validar seu funcionamento e efetuar ajustes. A seleção desses pilotos orientou-se por cinco critérios: (1) Tipo de construção – novas construções, em detrimento de propostas de reabilitação de edifícios históricos; (2) Cronologia - foco na produção contemporânea; (3) Perspectiva morfológica – edificações com características formais análogas, especialmente em relação ao gabarito e à quantidade de apartamentos; (4) Acessibilidade documental - acesso aos dados gráficos e não gráficos; (5) Conceitos: Preconização dos termos adaptabilidade e flexibilidade pelos projetistas. Neste artigo será apresentado um dos estudos-pilotos executado.

3.1. Het Schetsblok, Amsterdã, 2017

O piloto, “Het Schetsblok” (Figura 4), localiza-se em Amsterdã e foi construído em 2017. Possui 3.600 m² de área construída, distribuídos entre seis pisos, e 27 apartamentos com áreas que variam de 46 m² a 150 m². Não há áreas coletivas, exceto as de circulação e estacionamento. Em 2019, foi premiado como “Edifício Holandês do Ano” e, desde então, é considerado um dos casos exemplares do grupo *OpenBuilding*. Este coletivo de arquitetos defende a ideia de prolongar a longevidade e a adaptabilidade do espaço projetado por meio da aplicação do conceito de Construção Aberta (ou *Open Building*). Tal conceito fundamenta-se no Princípio de Suporte e Preenchimento de Habraken (1961), que reconhece a existência de ciclos de vida distintos entre os diferentes componentes construtivos. Como resultado dessa abordagem projetual, a edificação incorpora aspectos e estratégias de flexibilidade e cria as bases para uma economia circular na construção.

No piloto, foi levado a cabo o redesenho em BIM (Figura 5) e a avaliação de todas as categorias analíticas, exceto a do Terreno. Esta exclusão justifica-se pela indisponibilidade de dados quanto à implantação e às condições do subsolo (estacionamento). Com base na classificação da flexibilidade do Resil, os resultados indicaram os seguintes níveis para as categorias avaliadas: Pouco flexível: Circulação e Difusão de conhecimento; Flexibilidade Limitada: Caixa Mural;. Muito flexível: Organização espacial e tecnologia. Adicionalmente, o projeto obteve 49 pontos, após responder positivamente 20 dos 30 critérios estabelecidos, o que culminou em uma nota de 54,4%, apresentando o nível de Flexibilidade Limitada. Embora não tenha alcançado a classe máxima, o resultado é considerado positivo, dada a quantidade de critérios atendidos, indicando a confiabilidade no procedimento proposto.



Figura 4: Edifício Het Schetsblok - Piloto.
Fonte: <https://www.openbuilding.co/schetsblok-ana>



Figura 5: Modelo BIM - Piloto. Fonte: Elaboração própria

Conforme visto na Figura 6, os indicadores de flexibilidade com maior expressividade são: Junção e Desmembramento: 75%; Personalização: 67%; Diversidade: 58%; Adaptação: 56%. Com expressão mediana, incluem-se: Ampliação: 47%; e Circulação: 33%. O indicador com menor expressividade é a Difusão do Conhecimento, com 17%. Não obstante os percentuais de desempenho supracitados, ao considerar o perfil de flexibilidade ponderado (fração relativa ao total), as maiores contribuições observadas são: Adaptação: 31%; Junção e Desmembramento/Personalização: 19% (cada); Ampliação/Diversidade: 14% (cada).

RESIL										
NOME DO PROJETO	Edifício Het Schetsblok									
RESULTADO										
CATEGORIAS	INDICADORES								SCORE	MAX
	A-ADAPTAÇÃO	B-AMPLIAÇÃO	C-DIVERSIDADE	D-JUNÇÃO E DESMEMBRAMENTO	E-PERSONALIZAÇÃO	F-CIRCULARIDADE	G-INDEPENDENTE			
1-TERRENO		8							8	3
2-CIRCULAÇÃO	0	2	1	9					3	18
3-ORGANIZAÇÃO ESPACIAL	0	3	3	3	2				22	30
4-TECNOLOGIA	3			3	3	1			20	27
5-CADA MURAL	3								3	6
6-DIFUSÃO DE CONHECIMENTO	3						0		1	6
SCORE	15	7	7	9	8	2	1		49	
MAX	27	15	12	12	12	6	6		90	
Nível de flexibilidade por indicador	56%	47%	58%	75%	67%	33%	17%			
Fração do total indicador na flexibilidade	17%	8%	8%	10%	9%	2%	1%			
PERFIL DE FLEXIBILIDADE									49	54,4%
Flexibilidade limitada										
Legenda de cor do status: Não atende 10 a 30% atende 30-60% atende 60% atende Nem um pouco flexível Pouco flexível Flexibilidade limitada Muito flexível										

Figura 6: Relatório Resil – Edifício Het Schetsblok. Fonte: Elaboração própria

Adicionalmente, destacam-se alguns dos critérios que tiveram pontuação máxima. Entre estes, o critério 3C.10 (Variedade de tipos de unidades habitacionais) e 3C.20 (Variedade de tamanhos das unidades habitacionais), os quais atestam a capacidade do projeto em proporcionar uma diversidade de soluções espaciais e, assim, atender a diferentes agrupamentos. Destaca-se também o critério 3E.20 (A circulação e as áreas molhadas estão próximas, formando núcleos

que permitem a liberação de áreas periféricas para a criação de espaços neutros e multifuncionais), o qual revela que o arranjo em núcleos maximiza a flexibilidade do *layout*, ao mesmo tempo em que otimiza a infraestrutura hidrossanitária. No mesmo sentido, os critérios 4A.10 (A distância entre os eixos estruturais resulta em grandes vãos), 4A.40 (A estrutura é independente das vedações) e 5A.10 (A fachada é livre, neutra ou independente, oposto a fachada funcional), que facilitam a reconfiguração interna ao longo do tempo.

4. Considerações finais

O presente manuscrito cumpre o objetivo ao apresentar o Resil por meio da sua aplicação experimental em um estudo-piloto, anunciado pelos seus autores com um caso exemplar de projeto que expressa características e estratégias da flexibilidade. Os resultados mostraram o funcionamento do artefato proposto e dos recursos que o suportam, mas também o validaram e revelaram tanto as suas limitações, como das ferramentas empregadas. Importa, contudo, reforçar que antes desse estudo-piloto foram feitos diversos ensaios pontuais e parciais em outros projetos, o que implicou melhorias nas rotinas, no *template* e no formato do relatório, bem como numa revisão das métricas estabelecidas que foram adotadas nesta etapa e apresentadas neste artigo.

O experimento confirma que é possível utilizar o BIM para análise e avaliação de projetos a partir da especificação e detalhamento de requisitos, e que a sua associação à programação automatiza o processo avaliativo e facilita o cálculo de cada indicador de desempenho. Todavia, é interessante mencionar que o procedimento Resil não se constitui apenas pela aplicação de ferramentas digitais. Há um conjunto de processos e atividades articuladas, que permitem a verificação da flexibilidade dentro de um contexto específico, no caso, edifícios multifamiliares. Ao mesmo tempo, é primordial preparar o modelo e sistematizar os dados de entrada (geométricos e não geométricos) para que as respostas sejam adequadas e consistentes, assim como é imprescindível o papel do avaliador na avaliação final, cuja importância se dá na leitura dos resultados, sobretudo aqueles que decorrem de critérios subjetivos e complexos. Reforçando, assim, a visão de Sacks *et al* [20], que no BIM a verificação manual e a automática têm caráter complementar.

A maior contribuição da investigação consiste em revelar um caminho para avaliação e análise de projetos, auxiliado por BIM e Programação visual, que se propõe subsidiar o processo projetual e que incorpora um atributo, o qual proporciona ao ambiente construído mais resiliência e sustentabilidade. Pretende-se avançar o estudo, aplicando o procedimento em um conjunto de edificações reconhecidas pela crítica e produzidas recentemente no Brasil e em Portugal, a fim de aprimorar esse artefato e identificar soluções exemplares, e, com isso, somar ao Resil um banco de direcionamentos projetuais, em termos espaciais, formais e funcionais. Propõe-se, ainda, realizar oficinas direcionadas a arquitetos para validar sua usabilidade.

Agradecimentos

Agradecemos aos revisores anônimos por seus comentários construtivos que contribuíram para o aprimoramento deste artigo e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES), especialmente, o Programa de Doutorado Sanduíche no Exterior (PDSE) pelo apoio durante a realização desse trabalho.

Referências

- [1] M. M. Al-Humaiqani and S. G. Al-Ghamdi, "The built environment resilience qualities to climate change impact: Concepts, frameworks, and directions for future research," *Sustainable Cities and Society*, vol. 80, p. 103797, 2022, doi: 10.1016/j.scs.2022.103797.
- [2] K. C. R. De Bortoli and S. B. Villa, "Conforto ambiental como atributo da resiliência em habitações de interesse social brasileiras," *Revista Projetar - Projeto e Percepção do Ambiente*, vol. 5, no. 3, pp. 126–140, 2020, doi: 10.21680/2447-5351.2020v5n3p126-140.
- [3] R. Geraedts, "FLEX 4.0, um instrumento prático para avaliar a capacidade adaptativa de edifícios," *Energy Procedia*, vol. 96, pp. 568–579, 2016, doi: 10.1016/j.egypro.2016.09.102.
- [4] E. J. Garcia and B. Vale, *Unravelling Sustainability and Resilience in the Built Environment*. New York, NY, USA: Routledge, 2017.
- [5] H. Silva, C. Rodrigues, and H. Farias, "Resiliência em projetos de habitação social de concursos de arquitetura em Portugal e no Brasil (2013–2023): avaliação da flexibilidade, adequação ambiental e conforto," *Sustainability*, vol. 17, no. 12, p. 5559, 2025, doi: 10.3390/su17125559.
- [6] C. Cavalliere *et al.*, "BIM-based assessment metrics for the functional flexibility of building designs," *Automation in Construction*, vol. 107, p. 102849, 2019, doi: 10.1016/j.autcon.2019.102849.
- [7] H. A. Costa *et al.*, "Flexibilidade em projetos de arquitetura: contribuições a partir de uma revisão sistemática da literatura," *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, vol. 8, no. 3, p. 144, 2018.
- [8] H. L. Farias, "Para um habitar mais versátil, diversificado e inclusivo," em *Anais do IX Seminário Internacional Projectar*, Curitiba, Brasil, 2019.
- [9] D. Q. Brandão, "Diversidade e potencial de flexibilidade de arranjos espaciais de apartamentos: uma análise do produto imobiliário no Brasil," Ph.D. dissertation, Univ. Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, 2002.
- [10] T. Schneider and J. Till, *Flexible Housing*. London: Architectural Press, 2007.
- [11] T. Bergevoet and M. van Tuijl, *The Flexible City: Solutions for a Circular and Climate Adaptive Europe*. Rotterdam, Netherlands: nai010, 2023.
- [12] F. V. M. Parreira, "Estratégias de flexibilidade orientadas ao usuário como facilitador da resiliência em habitação de interesse social," M.S. thesis, Univ. Federal de Uberlândia, Uberlândia, Brasil, 2021.
- [13] L. Paulichen *et al.*, "Resilience in architecture: Housing as a process," *Strategic Design Research Journal*, vol. 12, no. 2, pp. 383–401, 2019, doi: 10.4013/sdrj.2019.122.13.
- [14] S. Brand, *How Buildings Learn: What Happens After They're Built*. London, UK: Penguin Books, 1994.
- [15] F. D. K. Ching, *Arquitetura: Forma, Espaço e Ordem*. São Paulo, Brasil: Martins Fontes, 2002.
- [16] G. H. Baker, *Análisis de la Forma: Urbanismo y Arquitectura*. São Paulo, Brasil: Editorial Gustavo Gili, 2006.
- [17] R. H. Clark and M. Pause, *Arquitectura: Temas de Composición*. Barcelona, Spain: Gustavo Gili, 1983.
- [18] A. Tagliari, *Frank Lloyd Wright: Princípio, Espaço e Forma na Arquitetura Residencial*. São Paulo, Brasil: Annablume, 2011.

- [19] G. Godoi, "Procedimentos algorítmicos: o método albertiano," in *Arquitetura Contemporânea e Automação: Prática e Reflexão*, 1st ed., G. Celani and M. Sedrez, Eds. Brasil: ProBooks, 2018.
- [20] R. Sacks et al., *Manual de BIM: Guia de Modelagem da Informação da Construção para Proprietários, Projetistas, Engenheiros, Contratantes e Gerentes de Instalações*, 3rd ed. Porto Alegre, Brasil: Bookman, 2021.
- [21] J. Aida et al., "Verificação de acessibilidade em escadas com BIM," in 5º Congresso Português de Building Information Modelling: ptBIM, vol. 1. Guimarães, Portugal: UMinho Editora, 2024.
- [22] G. Valente, "A importância de um template em projeto BIM," in 5º Congresso Português de Building Information Modelling: ptBIM, vol. 1. Guimarães, Portugal: UMinho Editora, 2024.
- [23] L. Logsdon and M. M. Fabrício, "Instrumentos associados de apoio ao processo de projeto de moradias sociais," *Ambiente Construído*, vol. 20, no. 2, pp. 401–423, Jun. 2020.