



Avaliações de Desempenho na Era BIM e os Desafios da Requalificação Energética de Edifícios

SOUSA, Aline Miller; FIGUEIREDO, Karoline Vieira

Núcleo de Pesquisas em Planejamento e Gestão, Universidade Federal do Rio de Janeiro - Cidade Universitária, Rio de Janeiro

Informações do Artigo

Histórico:

Recebimento: 00 Mês 2018

Revisão: 00 Mês 2018

Aprovação: 00 Mês 2018

Palavras-chave:

Avaliação de desempenho energético;

BIM 6D;

Reabilitação de edifícios;

Resumo:

Diante da necessidade de testes de desempenho para avaliar a eficiência energética das edificações, muitas ferramentas foram criadas ao longo dos anos. Porém, essas ferramentas sempre foram voltadas para análises em etapas avançadas de projeto ou após a construção. Com a implementação da metodologia BIM (Building Information Modeling), os métodos de simulação de desempenho ganharam muitas funcionalidades, se adequando à lógica da nova tecnologia. Apesar de ser um termo conhecido, muitos profissionais da indústria da Arquitetura, Engenharia Civil e Construção (AEC) entendem o BIM como ferramenta de desenho e não como uma metodologia de trabalho. Visando auxiliar os profissionais que têm interesse em incorporar as simulações de desempenho em seu processo de projeto, este trabalho explorou conceitualmente as características incorporadas pelo BIM às ferramentas de avaliação de desempenho, comentando seus usos, vantagens e limitações. Uma vez que as áreas de reabilitação e requalificação energética de edifícios tendem a crescer com as novas demandas de desempenho, o escopo desse trabalho foi ampliado para comentar algumas especificidades que essas novas áreas trazem em relação às avaliações de desempenho energético.

1. Introdução

Os impactos globais das altas emissões de dióxido de carbono (CO₂) ao longo dos anos evidenciam a necessidade de racionalização do consumo e redução das emissões. Enfrentamos tempestades e ciclones cada vez mais intensos, aumento da temperatura global, elevação do nível do mar, redução da oferta de água doce e alterações no ciclo de chuvas. Estima-se que os níveis de concentração de

CO₂ na atmosfera aumentaram cerca de 40% desde a era pré-industrial devido, principalmente, à queima de combustíveis fósseis [1].

Em países onde a demanda e o custo de energia elétrica são maiores e a produção causa maior impacto ambiental, a importância de normas regulatórias no campo da sustentabilidade e eficiência energética é indiscutível, uma vez que a falta delas poderia

gerar uma crise energética em um curto prazo. No Brasil, porém, o custo relativamente baixo da energia de matriz hidroelétrica e também seu baixo impacto ambiental [2], muitas mudanças que já deveriam ser consideradas urgentes chegam ao país com certo efeito retardado. No entanto, alguns acontecimentos importantes como as ameaças de *Apagão Energético* de 2001 e, mais recentemente, a crise hídrica enfrentada por São Paulo não deveriam cair no esquecimento tão rapidamente, pois mostram que o nosso país não está imune às mudanças climáticas – e nós não estamos preparados para elas.

Por se tratar de um país em desenvolvimento, é provável que haja aumento da demanda energética devido ao acelerado crescimento das cidades e indústrias. Os atuais problemas de infraestrutura urbana relacionados ao serviço de energia elétrica, por exemplo, alertam para a morosidade de sua expansão e atualização, e devem servir de alerta para um futuro próximo caso não haja mudança no perfil de consumo dos usuários, no desempenho energético dos edifícios e investimento em alternativas de produção de energia de fontes renováveis interessantes para o contexto brasileiro, como a solar.

Apesar dos primeiros esforços globais no campo da sustentabilidade terem surgido já no início da década de 1970 [2], é relativamente recentemente a discussão do papel da indústria da AEC nesse contexto. Casagrande e Stachera (2007) apontam a indústria da construção civil como um dos setores da economia que gera maior impacto sobre o ambiente natural [3].

A primeira parte deste trabalho apresenta algumas características importantes do BIM (*Building Information Modeling*) para a compreensão do funcionamento das ferramentas de simulação e apresenta os princípios conceituais das simulações e análises de desempenho embasando-se em revisões bibliográficas. A segunda parte discorre sobre a importância da reabilitação de edifícios no contexto global de

expectativas e exigências sobre desempenho energético e ambiental.

2. BIM (*Building Information Modeling*)

Com frequência, o BIM é associado ao uso de determinados *softwares*. No entanto, é importante entender o BIM como uma metodologia de processo de projeto, que busca a integração das diferentes equipes de trabalho, informações, dimensões e processos de projeto, construção e posterior manutenção dos edifícios [4].

Em tradução livre, BIM pode ser entendido como Modelagem da Informação da Construção – e a ideia central da metodologia é realmente essa: uma tecnologia baseada em informações concentradas em bancos de dados, voltada para o desenvolvimento colaborativo e integrado de projetos (de viabilidade, construção, manutenção ou demolição), que garante a segurança da informação e da documentação do modelo através da centralização das informações, facilitando as rotinas de desenvolvimento do projeto através da automação [4].

Por se tratar de uma metodologia de processo de projeto, a implementação do BIM em uma empresa deve vir acompanhada de mudanças nos processos de trabalho. Com o uso do BIM ocorre uma redistribuição dos esforços projetuais, com atenção redobrada na fase de concepção [4]. Porém, por fornecer rotinas automatizadas e parametrização de objetos, despende-se menos esforço no exercício de desenho, garantindo aos profissionais mais tempo para de fato projetar. Baseado em um banco de dados vinculado ao modelo tridimensional, o BIM privilegia a construção contextual apoiada em simulações, aproximando-se da tectônica arquitetônica – seguindo o caminho inverso dos programas CAD ou desenhos técnicos instrumentais, baseados em convenções abstratas de representação da forma.

Uma das funcionalidades mais interessantes a se destacar no BIM está na facilidade para a detecção de conflitos, que reduz bastante o tempo de compatibilização entre os diferentes subprojetos que integram o projeto arquitetônico. Um dos maiores problemas enfrentados pelas ferramentas BIM é o reconhecimento de espaços fechados, uma vez que utiliza parâmetros muito restritos de definição que nem sempre se aplicam a uma construção real. Esses problemas levaram o *National 3D-4D-BIM Program* a desenvolver pesquisas sobre a validação espacial, pois eram problemas recorrentes em todo tipo de projeto [5].

Apesar do decreto federal Nº 9.377, de 17 de maio de 2018 (que institui a Estratégia Nacional de Disseminação do BIM no Brasil) definir metas para a difusão da metodologia no país [6], ainda existe alguma resistência dos profissionais da indústria AEC em relação à metodologia, uma vez que sua implementação acarreta em custos elevados devido ao valor do *software*, do treinamento de funcionários, da possível necessidade de atualização dos computadores, além da queda de produtividade esperada do período de treinamento e adaptação.

Utilizando o BIM de maneira consolidada e eficiente, existe o potencial de agilidade e barateamento dos projetos, redução de desperdício em obras, redução da demanda energética dos edifícios construídos e uso mais eficiente do capital humano [7]. No entanto, todas essas melhorias vão depender da exploração e aderência do usuário às funcionalidades, ferramentas, dimensões e metodologia BIM.

2.1 Os estágios de consolidação do BIM

Como dito anteriormente, o uso do BIM como metodologia (e não apenas ferramenta) deve incluir mudanças nos processos de trabalho e de projeto, na construção e no acompanhamento do ciclo de vida do edifício. No entanto, podemos notar que a ideia central do BIM ainda não foi completamente absorvida pelo mercado ao analisar a maneira como os profissionais lidam com a nova

tecnologia. Kiviniemi (2008) demonstrou que muitos profissionais AEC não modificaram suas metodologias de trabalho – ao invés disso, seguiam utilizando softwares BIM como ferramentas de CAD melhoradas [8]. Segundo Ruschel e Andrade (2011), existem diversas maneiras de se classificar os estágios de consolidação do BIM na indústria AEC [4]. Uma delas ocorre em três eras ou estágios: BIM 1.0, BIM 2.0 e BIM 3.0.

A era BIM 1.0 marca o surgimento dos aplicativos baseados em objetos (OOCAD). Neste momento de consolidação, a modelagem paramétrica existe, porém envolve apenas uma disciplina, e não privilegia a boa comunicação entre os agentes de projeto. Como vantagens em relação ao CAD, esta fase de aprimoramento já fornece maior controle das informações e da documentação de projeto, maior produtividade e geração de quantitativos a partir dos modelos tridimensionais.

Na era BIM 2.0, se iniciam as trocas e interações entre programas de análise e até dois agentes de projeto em até duas fases de desenvolvimento. A base de informações gerada é ampliada, os modelos são melhorados e pode existir a possibilidade da compatibilização por determinação de conflitos (*clash detection*). Além do produto da fase anterior, nesta podem ser gerados cronogramas e orçamentos baseados no modelo.

Finalmente, na era BIM 3.0 se alcança a fase de desempenho desejado da metodologia BIM que é o processo colaborativo, com equipes multidisciplinares desde o momento da concepção do projeto, com hierarquias reduzidas e responsabilidades compartilhadas.

2.2 As dimensões do BIM

De acordo com Figueiredo (2018), o BIM passou a ser classificado segundo suas dimensões [9], onde:

- A dimensão 3D refere-se à representação tridimensional e, muito além dela, ao próprio edifício virtual, que simula os métodos construtivos e materiais, carregando

consigo toda um banco de informações geométricas e não-geométricas, que podem ser visualizados, manipulados e facilmente compatibilizados com a detecção prévia de conflitos;

- A dimensão 4D refere-se ao tempo, auxiliando na definição de cronogramas de desenvolvimento;

- A dimensão 5D refere-se ao custo, auxiliando a produção de orçamentos que podem ser facilmente controlados com as atualizações automáticas no documento após atualização do modelo (desde que o modelo tenha sido previamente vinculado a uma base de dados orçamentária)

- A dimensão 6D refere-se à sustentabilidade e ao desempenho energético e será a dimensão mais abordada neste trabalho. Esta dimensão permite a análise prévia do desempenho com base em variáveis especificadas pelo projeto ou, ainda, a partir dos dados médios gerais para edificações de mesmo uso e clima;

- A dimensão 7D refere-se à gestão da construção, contemplando o gerenciamento de informação acerca do uso e operação do edifício até o momento de sua demolição.

- A dimensão 8D (ainda em discussão entre autores) refere-se à segurança e prevenção de acidentes.

Com o desenvolvimento e cada vez maior consolidação do BIM na indústria AEC, a tendência é que muitas outras dimensões venham a ser observadas e inclusas nessa classificação.

2.3 Parametrização e Interoperabilidade

O modelo paramétrico é uma representação computacional (geralmente geométrica) que possui atributos fixos, denominados controlados, e atributos variáveis, que são os parâmetros [9]. A ideia do modelo parametrizado é permitir certo grau de liberdade de projeto assegurada por certas regras definidas. Esta característica oferece a dinamização da experimentação na concepção do projeto, facilitando a

manipulação de formas geométricas complexas.

A interoperabilidade diz respeito à capacidade de troca de informações filtradas entre ferramentas sem a perda de dados sobre questões fundamentais do projeto e a eliminação da necessidade de recadastro manual dos dados de projeto em ferramentas que as demandam, como algumas de análise energética. Segundo Ruschel e Andrade (2011), os fluxos de dados entre aplicativos BIM podem ocorrer pelos seguintes meios [4]:

- Fluxo de dados de troca, gerados ao importar ou exportar dados que não são estruturados ou computáveis. Por exemplo, exportar um desenho em CAD para um programa BIM.

Fluxo de dados de intercâmbio, gerados ao importar ou exportar dados estruturados e computáveis para outras ferramentas que recebem essas informações sem perdas (ou com poucas).

2.4 Linguagens universais

Com o objetivo de incentivar uso das ferramentas BIM e facilitar as trocas e colaborações entre os profissionais da AEC, a *BuildingSmart* (antiga *International Alliance for Interoperability*) vem desenvolvendo desde 1995 um formato de arquivo não proprietário chamado IFC (*Industry Foundation Classes*) [10]. Apesar de tornar possível a troca de dados entre diferentes plataformas de BIM, este modelo é um pouco deficitário, pois não é capaz de traduzir e reter todos os dados e tarefas que certas plataformas BIM oferecem [11].

Outro formato aceito em diversas plataformas é o gbXML, publicado em 2000 pelo *Green Building Studio*, criado para facilitar a interoperabilidade com programas de análise de desempenho ambiental. Este formato teve entre seus apoiadores, a *Autodesk*, a *Graphisoft*, *Bentley* e *DOE-US*. Ele facilita a exportação de dados de análises energéticas para outros softwares [11].

3. As avaliações de desempenho energético na indústria AEC

O desenvolvimento das primeiras metodologias de análise de conforto energético se iniciou nas décadas de 1960 e 1970 e tinham o foco principal na análise da envoltória do edifício. Rapidamente, foram desenvolvidos também métodos de análise para os níveis de iluminação, ventilação, climatização, transferência de calor, acústica etc. A partir da década de 1980, começaram a ser desenvolvidos *softwares* que facilitaram o uso dessas metodologias baseadas em cálculos [12].

Atualmente o escopo de análises possíveis se ampliou bastante, oferecendo ao profissional a possibilidade de avaliar também os sistemas de climatização, sistemas de geração de energia fotovoltaica, os níveis de emissão de CO₂, os impactos gerados ao longo do ciclo de vida do edifício, análises termodinâmicas com simulação de microclimas urbanos através de ferramentas de dinâmica de fluidos computacional (CFD) etc. [12].

As simulações de desempenho energético e ambiental visam, em suma, reduzir o consumo de energia elétrica e buscar estratégias para o atendimento do conforto ambiental (principalmente higrotérmico) do usuário. Atualmente, os sistemas de condicionamento de ar tem um peso alto no consumo total de energia, especialmente nas regiões mais quentes, que possuem poucos dias de clima amen, por isso o foco nas análises de cargas térmicas.

Reconhecendo o perfil de cargas térmicas de um edifício ao longo do ano por meio de simulações, é possível quantificar o calor a ser retirado do ambiente que deve ser climatizado e assim estimar a capacidade do sistema de condicionamento (ou aquecimento, no caso dos climas frios) a ser instalado. Também por meio dessas análises, é possível identificar as áreas mais críticas e os pontos que oferecem oportunidade de alterações que podem interferir no ganho de carga térmica. Quando se encontram soluções passivas para

resolver o ganho das cargas térmicas (ou outras soluções projetuais, como outra orientação para o edifício em relação ao terreno, por exemplo), não apenas o custo de uso e operação do edifício será reduzido, como também o custo inicial, pois quanto menor for a capacidade do sistema (e a necessidade), menores serão os gastos com a compra de aparelhos e instalações elétricas [13].

Existem atualmente centenas de ferramentas de análise de conforto térmico e desempenho energético, cada qual com suas vantagens e desvantagens, foco de análise (termodinâmica, luminância etc.), uso final pretendido, nível de detalhamento das análises, facilidades de idioma e de importação de dados do país (quando o *software* é direcionado para uma região específica), capacidade de troca de dados e requisitos normativos [12]. Algumas destas ferramentas possuem maior credibilidade por serem certificadas – o que significa que foram submetidas a testes padronizados baseados em alguma metodologia de avaliação (como por exemplo, a metodologia da norma ASHRAE 140/2011, uma das mais conceituadas para a análise energética), com o objetivo de verificar se os resultados das análises cabem no padrão de incerteza aceitável. Isso não significa que as ferramentas não certificadas sejam necessariamente ruins, porém requerem um nível de especialização alto do usuário, para que seja capaz de reconhecer alguma eventual incoerência nos resultados.

Além de quantificar o consumo de energia e os níveis de conforto ambiental, as ferramentas de simulação acrescentam a noção de realismo ao processo de projeto, estimando, quantificando, comprovando e aprimorando soluções projetuais derivadas da Física [14]. Portanto, não devemos considerar apenas o aspecto quantitativo da definição de cargas térmicas, mas também o aspecto qualitativo, relacionado à eventual variabilidade na necessidade de determinadas soluções projetuais. Uma vez que as simulações contribuem para o melhor

entendimento das condições ambientais e das variações do uso do espaço, as simulações não precisam definir apenas uma alternativa “ótima” (concebida quando analisamos apenas as situações extremas); ao invés disso, podem explorar diversos cenários climáticos e de uso, apresentando uma gama de alternativas a serem exploradas, possibilitando, assim, o estudo sobre o impacto formal, o custo-benefício e a eficiência que cada uma delas traria [15].

É importante ressaltar, no entanto, que as simulações de desempenho são mimeses da realidade, portanto não correspondem totalmente a ela. O uso e a operação do edifício implicam em uma série de incertezas e imprevisibilidades que não são quantificáveis por mera estimativa.

3.1 Vantagens das ferramentas BIM sobre as outras ferramentas de simulação de desempenho

Devido ao fato de diversas ferramentas independentes exigirem um alto nível de conhecimento e especialização dos profissionais envolvidos nas análises ambientais (pela especificidade de informações e dificuldade para a coleta de alguns dados), o uso das simulações de análise de desempenho ambiental e energético era praticamente limitado a um nicho específico de mercado com profissionais de alta especialização [12].

Com sua rica plataforma de dados integrados, interoperabilidade entre ferramentas e interface amigável, o BIM se apresenta como uma opção que viabiliza a assimilação das simulações de desempenho desde a fase de concepção do projeto. A própria interface, baseada em um modelo tridimensional, facilita o entendimento dos fenômenos físicos envolvidos e analisados durante as simulações, algo que pode ser complexo de se perceber quando a interface não evidencia os processos analisados.

Essa facilidade de análise proporcionada pelo BIM oferece um grande potencial de melhora de desempenho dos projetos

arquitetônicos desde a sua concepção e não apenas em uma fase preliminar ou final, para atendimento ou quantificação de desempenho para certificações ambientais. Quando o conforto ambiental e a eficiência energética fazem parte do escopo de projeto desde a sua concepção, é mais provável que alcance um alto desempenho a um baixo custo.

Uma de suas maiores vantagens é a garantia na entrada dos dados no módulo de análise energética, pois importando os dados automaticamente do BIM, existe a garantia quanto à seleção correta de parâmetros, a segurança na entrada dos dados e a economia de tempo por dispensar a necessidade de reentrada manual dos dados. O uso de softwares de análise de desempenho energético integrados ao BIM facilita o processo de simulações, possibilitando que mais projetistas os adotem, mesmo que não tenham um extenso repertório técnico na área de conforto ambiental e eficiência energética.

O maior desafio em relação às simulações de desempenho, no entanto, permanece o mesmo: o grau de incerteza que todas as simulações apresentam e que pode ser relacionado a alguns fatores durante o uso e operação da edificação. Um dos principais fatores é o perfil de consumo do usuário final do edifício.

3.2 O grau de incerteza

Nenhuma ferramenta de simulação energética tem condições de prever o consumo real de um edifício sem uma margem de incerteza, que denominamos *grau de incerteza* [12]. As avaliações de desempenho indicam o perfil de consumo de energia do edifício, além da comparação entre os diversos cenários analisados em uma mesma edificação para o mesmo clima. No entanto, as simulações não preveem ou estimam o consumo do usuário que está fora da curva de consumo média, ou seja, o consumo necessário para aquele edifício, naquele clima. As diferenças de consumo entre os usuários podem significar um grau de incerteza alto, com diferenças de até 30% entre o desempenho estimado e o real [12].

Outros fatores podem influenciar no grau de incerteza da avaliação, dentre os quais podemos citar:

- O perfil de consumo do usuário;
- A experiência do avaliador com o uso da ferramenta;
- O conhecimento do avaliador em técnicas de análise (do método, não apenas das ferramentas);
- A qualidade do modelo;
- A aproximação dos dados com a realidade;
- As limitações de prazo;
- A falta de sistemas de monitoramento para a avaliação da qualidade dos resultados das simulações;
- A falta (ou desconhecimento) de normas e diretrizes para a definição de parâmetros da simulação;

O grau de incerteza considerado aceitável e esperado de uma simulação completa gira em torno de 5 a 8%. Para alcançar valores mais fidedignos, é necessário reunir o máximo de informações do edifício através do detalhamento da geometria ou do fornecimento de dados coletados por instrumentos no local [12].

No entanto, esse nível de detalhamento do consumo energético é desnecessário em edificações pequenas (até 2.000m²). Já uma grande edificação (maior que 10.000m²), pode exigir que a curva do consumo seja detalhada em intervalos de quinze minutos, com a instalação de medidores dedicados a certos sistemas por uma a duas semanas [12].

4. A reabilitação para requalificação energética de edifícios

Atualmente temos uma série de legislações e instrumentos normativos que visam incentivar a eficiência energética. Acordos internacionais para a redução da emissão de CO₂ na atmosfera foram um grande incentivo para esse tipo de revisão de

atitude de consumo em países como o Brasil, onde o custo da produção de energia ainda é baixo em comparação com países europeus.

No Brasil, temos uma série de legislações de âmbito federal que visam apoiar e incentivar a busca por eficiência energética:

- O Decreto Federal Nº 99.656, de 26 de outubro de 1990, regula a maneira como os edifícios públicos deveriam buscar meios de melhorar a eficiência energética reduzindo o consumo de energia elétrica [16];

- A Lei Federal nº 10.295, de 17 de outubro de 2001, conhecida como Lei da Eficiência Energética, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso racional de Energia [17];

- A Instrução Normativa Nº01/2010 SLTI, de 19 de janeiro de 2010, que dispõe sobre os critérios para aquisição de bens, contratação de serviços e obras públicas [18];

- O Decreto Federal nº 7.746, de 5 de junho de 2012, que regulamenta os critérios, práticas e diretrizes para a promoção do desenvolvimento nacional sustentável nas contratações realizadas pela administração pública federal [19];

- A Instrução Normativa nº 10/2012 SLTI, de 12 de novembro de 2012, que estabelece regras para elaboração dos Planos de Gestão de Logística Sustentável [20];

- Instrução Normativa Nº 02/2014 SLTI, de 4 de junho de 2014, que dispõe sobre regras de eficiência energética para a aquisição ou locação de máquinas e aparelhos consumidores de energia pela administração pública, e institui a adoção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) nos projetos e respectivas edificações públicas federais novas ou reabilitadas [21].

Observando a tendência mundial, as legislações ambientais e energéticas devem ficar mais rígidas com o passar dos anos e considerando o histórico da evolução de exigências e expectativas para a eficiência energética dos edifícios, não requalificar os edifícios antigos para o bom desempenho pode significar, no mínimo, um risco de desvalorização imobiliária, pois esses

edifícios ficariam tecnologicamente defasados [2].

Muitas são as razões que justificam a reabilitação de edifícios: melhora da funcionalidade, busca por conforto ambiental, renovação dos sistemas prediais, alterações estéticas, etc. Uma questão importante a ser lembrada é o potencial de renovação urbana que pode ser causado pela reocupação de edifícios abandonados, transformando seus usos, principalmente no sentido de atender a questão habitacional, colaborando com o adensamento dos centros urbanos e a criação de novas residências em pontos já integrados à rede de infraestrutura urbana (visando minimizar os custos operacionais de expansão da rede, quando possível). Esse tipo de reabilitação já é feito em menor escala pelo CodHab SP, pois a cidade de São Paulo possui muitos edifícios abandonados com potencial de renovação. Nesses casos, o maior problema é sobre questões burocráticas e não sobre a obra de reabilitação em si.

A reabilitação energética deve ajudar a reduzir o consumo energético do edifício, além de melhorar as condições de salubridade e conforto dos usuários. Dentre as vantagens esperadas em uma reabilitação que visa à requalificação energética, podemos citar:

- Melhoria das condições de conforto higrotérmico;
- Redução dos custos de manutenção do edifício;
- Provável redução das patologias do edifício;
- Prolongamento da vida útil do edifício;
- Aumento do valor percebido do edifício.

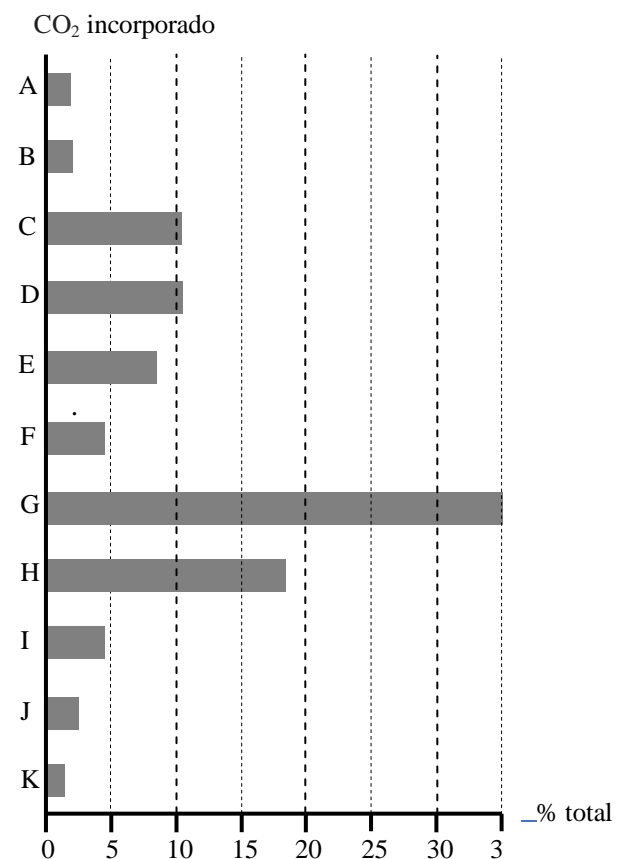
4.1 O edifício reabilitado X o edifício novo em energia incorporada

Normalmente as justificativas para demolição e reconstrução de um edifício se pautam na ideia de que as vantagens de desempenho energético e conforto ambiental (bem como da imagem pública) de edifícios novos têm grande potencial para superar um

edifício reabilitado. Porém, é fundamental fazer uma análise comparativa entre a reconstrução e a reabilitação sob as perspectivas dos impactos socioeconômico e ambiental.

A reconstrução pode ser justificada quando não há possibilidade de expansão da área construída sem a demolição. No entanto, a demolição de um edifício antigo para a construção de um novo pode levar a rompimentos com os padrões sociais e socioeconômicos locais [22]. É necessário entender a dinâmica urbana antes de qualquer intervenção para que o novo projeto não a piore incorporando lições aprendidas através dos problemas do edifício antigo.

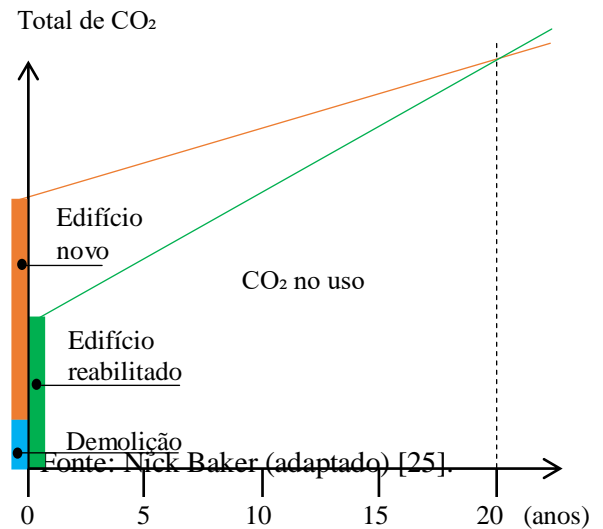
Figura 1 – Valor de CO₂ incorporado associado aos materiais construtivos que constituem o edifício.



Fonte: Simons Construction Group apud Lane (adaptado) [23].

Onde:

- A. Lixo – 1.8%
- B. Entregas de obra – 1.8%
- C. Processo construtivo – 10.6%
- D. Sistemas prediais – 10.7%
- E. Revestimentos – 8.4%
- F. Montagem estrutural – 4.1%
- G. Aço – 35%
- H. Concreto – 18%
- I. Piso elevado – 4.6%
- J. Divisões internas – 2.1%
- K. Cobertura – 0.9%



Fonte: Nick Baker (adaptado) [24]

Além disso, segundo Lane (2007), o impacto ambiental da reabilitação será quase sempre inicialmente menor que no edifício novo, uma vez que na reabilitação os materiais com maior valor incorporado de CO₂ são obrigatoriamente mantidos, pois fazem parte da estrutura (aço e concreto), como mostrado na Figura 1. Além da própria estrutura, o processo de demolição e transporte de resíduos também deve ser contabilizado nos níveis de emissão de CO₂ da construção nova [23].

Como o edifício reabilitado inicia o ciclo de vida em vantagem em relação ao edifício novo, mesmo que seja maior emissor de carbono durante o uso e operação. O edifício novo só passa a ser tecnicamente menor emissor após o chamado *ponto de empate*, que é o momento em que a energia incorporada para a sua construção somada à energia necessária para o seu uso e operação alcançam o mesmo patamar no qual o edifício reabilitado se encontra (considerando, da mesma maneira, a energia incorporada na reabilitação e a energia necessária para o seu uso e operação). A Figura 2 apresenta um gráfico para ilustrar melhor a questão do ponto de desempate [22].

Figura 2 – Emissões de CO₂ para edifícios novos e reabilitados em função do tempo de uso e o ponto de empate.

4.2 Desvantagens das reabilitações para requalificação energética

A reabilitação de um edifício visando à requalificação da eficiência energética e conforto ambiental pode incluir estratégias de ventilação/resfriamento ativos (sistemas de condicionamento de ar), passivos (sombreamento da fachada, ventilação natural, inércia térmica, resfriamento evaporativo etc.) ou ainda, sistemas híbridos ou mistos, que integram ambas as soluções, permitindo ao usuário maior controle sobre as variações do ambiente ao longo do ano [22].

Naturalmente, boas decisões em relação à eficiência energética e conforto ambiental tomadas desde a concepção do projeto têm o potencial de custar muito menos e apresentar mais eficácia que o contrário [22]. A melhora das questões de sustentabilidade de um edifício antigo pode ser inviável, caso características intransponíveis do projeto demandem soluções com custos significativamente altos e um retorno nem sempre bom o bastante.

No entanto, esse potencial deve ser avaliado caso a caso. Há edifícios onde pequenas intervenções na envoltória, atualizações nos sistemas prediais ou ainda a

simples possibilidade de controle individual das condições ambientais internas podem resultar em um bom desempenho para o edifício.

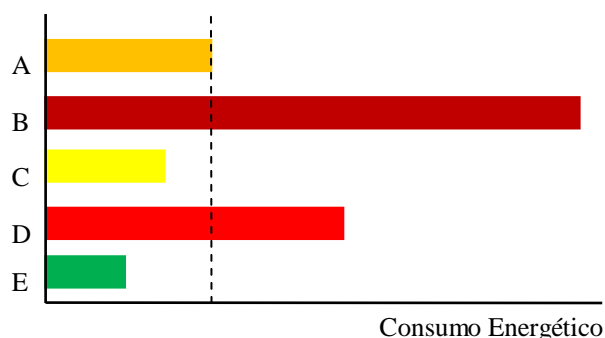
4.3 A mudança de uso nos edifícios reabilitados

Segundo Amancio (2011), reabilitação é o conjunto de intervenções com objetivo de recuperar funções interrompidas pela falta de manutenção; quando a proposta de reabilitação de um edifício inclui a mudança de seu uso, configura-se como *reforma* [25]. Para esses tipos de intervenção, é necessário fazer uma profunda análise em relação às novas demandas energéticas (pois pode ocorrer aumento substancial da carga), do padrão de uso, da possibilidade de ventilação natural, iluminação, acústica etc.

Segundo Baker (2009), nas avaliações de desempenho que incluem novos usos, devem ser analisados e comparados [24]:

- O desempenho do edifício atual, sem alterações e com o uso atual;
- O desempenho do edifício atual, sem alterações e com o novo uso;
- O desempenho do edifício reformado e requalificado e com o novo uso;
- A comparação entre o desempenho do edifício reformado com um edifício *novo*, com o mesmo tipo de uso e ocupação e em clima semelhante.

Figura 3 – Avaliação da melhora de desempenho ambiental e energético de um edifício reabilitado no Reino Unido.



Fonte: Nick Baker (adaptado) [25].

Onde:

- A. Edifício requalificado, uso novo – real
- B. Edifício original, uso novo – calculado
- C. Edifício novo, uso novo – calculado
- D. Média dos edifícios de mesmo uso – real
- E. Edifício original, uso antigo – real

O estudo realizado por Baker (2009) no Reino Unido mostrou que os edifícios reabilitados consomem 35% do equivalente que consumiriam no caso do edifício original com mudança de uso e *sem* a reabilitação; e 58% da média dos edifícios do mesmo uso, apesar de consumirem 10% a mais que um edifício novo [25], como mostra a Figura 3.

É normal que o desempenho projetado fique na média entre o edifício original, sem melhorias, e do edifício novo projetado para o bom desempenho. Porém, mesmo nesse caso, o ponto de empate do edifício novo com o reabilitado acontecerá em algum ponto do futuro, como mostrado na Figura 1.

4.4 O uso de simulações para análises ambientais de reabilitação

Usadas para a avaliação de obras de reabilitação, as ferramentas de simulação e análise de desempenho são úteis para os diversos estudos de viabilidade para o projeto de requalificação energética, oferecendo a oportunidade da avaliação das cargas térmicas, demandas de consumo, estimativas de custo operacional e estrutura tarifária (algumas ferramentas oferecem a análise do consumo energético, onde a estrutura tarifária pode ser simulada para verificar o impacto no custo do uso e operação do edifício).

A vantagem da simulação energética de edificações existentes é o conhecimento

prévio sobre o comportamento térmico real da edificação e, possivelmente, conhecimento do perfil de consumo do usuário. Com base nesses dados verificados, o grau de incerteza das análises diminui substancialmente, principalmente quando os usuários do edifício anteriores à requalificação energética permanecem. Porém esta regra só é válida quando o avaliador tem acesso às faturas de energia elétrica, gás e água do ano anterior [12]. Conhecendo esses dados, o avaliador pode fazer a calibração do modelo computacional com os gastos reais dos usuários.

Além da calibração das simulações computacionais com os dados reais de consumo do ano anterior, Waltz (2000) recomenda que, durante obras de reabilitação, além do levantamento de dados oficiais de projeto, o profissional se apoie também em levantamentos e desenho *as built* e, principalmente, entrevistas com usuários do edifício membros das equipes de operação (que podem conhecer problemas do edifício e saber sobre obras posteriores a construção original) [26].

Outro ponto importante para o profissional é a avaliação da edificação reabilitada, do grau de incerteza final (variação entre a simulação e o consumo real após as obras) e os níveis de satisfação dos usuários, pois esses dados poderão acrescentar material ao repertório técnico como lições aprendidas para projetos posteriores.

5. Conclusão

Apesar de existirem centenas de outras ferramentas de análise desempenho energético e ambiental, as simulações de desempenho do BIM conseguiram suprir uma importante demanda que não era atendida: a possibilidade de incorporar as análises desde a concepção do projeto como ferramenta de exploração de alternativas, facilitando a vida do profissional que busca pelo conforto ambiental e eficiência energética em seus projetos.

Utilizando um conjunto de aplicativos para simulações de desempenho, é possível alcançar resultados mais completos para as análises energéticas. No entanto, tal complexidade nem sempre é necessária para o alcance de um resultado fidedigno.

Outro grande benefício trazido pelas simulações de desempenho em BIM foi a facilidade na utilização, permitindo que profissionais que não possuem um grande repertório técnico na área de eficiência energética consigam avaliar seus projetos e testar diversas soluções e cenários climáticos sem grande dificuldade.

Sua aplicação vai além da mera avaliação do desempenho, sendo útil em diversas etapas do processo de projeto e da operação do edifício, fator que torna vantajosa a adesão a esta tecnologia. Ainda não podemos dizer que o BIM está consolidado no mercado, mas este cenário tende a mudar, dada a quantidade de incentivos ao uso no cenário legal e dos benefícios próprios da metodologia. As simulações de desempenho energético são úteis no momento do projeto legal, auxiliando na adequação às normas (e consequentemente facilitando nos processos de auditoria *as built*), nos projetos de execução (para a escolha dos sistemas de climatização, iluminação, os itens de proteção passiva etc.) e após, no projeto de sistemas de gerenciamento de energia e controle, pois facilita a escolha dos parâmetros a serem monitorados [12].

Simulações de desempenho energético voltadas para requalificação energética de edifícios habilitados possuem a vantagem da redução do grau de incerteza da análise através do conhecimento do comportamento real da edificação e, possivelmente, do perfil de consumo do usuário. No entanto, uma vez que o desempenho energético e o conforto ambiental de um edifício normalmente serão maiores quando esses conceitos foram incorporados desde a concepção do projeto, é possível que algumas características do edifício inviabilizem a requalificação energética.

Ainda que o desempenho energético de um edifício reabilitado seja teoricamente menor que um edifício novo, concebido para o bom desempenho, seu impacto será geralmente menor que um edifício novo devido ao valor de CO₂ incorporado nos materiais estruturais. Portanto, o potencial de requalificação do edifício antigo deve necessariamente ser avaliado no estudo de viabilidade para a reabilitação, pois em muitos casos, pequenas intervenções nas fachadas e alterações em sistemas prediais podem garantir um grande avanço de desempenho.

6. Referências

- [1] IPCC. AR5 Climate Change 2014: Synthesis Report. Genebra, 2014. Disponível em <<https://archive.ipcc.ch/report/ar5/syr/>>. Acessado em: 19 de fevereiro de 2019.
- [2] BODE, K.; TUBERTINI, S.; GONÇALVES, J. C. S., A Considerações finais, in: GONÇALVES, J. C. S., BODE, K., Edifício Ambiental, primeira ed.: Oficina de Textos, São Paulo, 2015, pp. 573-582.
- [3] CASAGRANDE, E.; STACHERA, T., Avaliação das emissões de CO₂ na construção civil: um estudo de caso da habitação de interesse social no Paraná. IX ENGEMA – Encontro Nacional sobre Gestão e Meio Ambiente, Curitiba, 2007.
- [4] RUSCHEL, R.C.; ANDRADE, M., Building Modeling Information (BIM), in: KOWALTOWSKI, D.; et. al (Orgs), O Processo do Projeto em Arquitetura – da teoria à tecnologia, primeira ed., Oficina de Textos, São Paulo, 2011, pp. 285-294.
- [5] GSA, General Services Administration, The National 3D-4D BIM Program. GSA Building Information Modeling Guide Overview: GSA BIM Guide Series 01. Washington DC, 2007.
- [6] BRASIL. Lei 9.377, de 17 de maio de 2018. Institui a Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/2018/decreto-9377-17-maio-2018-786731-publicacao-original-155623-pe.html>>. Acessado em: 20 de fevereiro de 2019
- [7] ARAÚJO, V.M.S., Aplicação da Tecnologia BIM na Análise Termoenergética Comparativa do Edifício Utopia, Universidade de Minho, Portugal, 2016.
- [8] KIVINIEMI, A.; et. al, Review of development and implementation of IFC compatible BIM. Erabuild Funding Organizations, 2008. Disponível em: <<https://boligejer.dk/file/9498/reviewofdevelopmentandimplementationofifccompatiblebim.pdf>>. Acessado em 13 de fevereiro de 2019.
- [9] HERNANDEZ, C. R. B., Thinking Parametric Design: introducing parametric Gaudí. Desin Studio, [S.I.], v.27, n.3, pp. 309-324. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/257144974/Thinking-Parametric-Design-Introducing-Parametric-Gaudi>>. Acessado em: 14 de fevereiro de 2019.
- [10] FIGUEIREDO, K. V., Simulação de modelos informatizados de edificações utilizando avaliação do ciclo de vida e análise de eficiência energética: Estudo de caso e aplicações. Poli-UFRJ, Rio de Janeiro, 2018.
- [11] DIAS, S. A. F., Os sistemas energéticos para habitação autossustentável em clima português: simulação e análise energética. Universidade de Lisboa, Lisboa, 2015.
- [12] HERNANDEZ, A., Fundamentos da simulação energética de edificações, in: GONÇALVES, J. C. S., BODE, K., Edifício Ambiental, primeira ed.: Oficina de Textos, São Paulo, 2015, pp. 285-294.
- [13] BODE, K.; HERNANDEZ, A., A tecnologia dos sistemas prediais, in: GONÇALVES, J. C. S., BODE, K., Edifício Ambiental, primeira ed.: Oficina de Textos, São Paulo, 2015, pp. 103-125
- [14] GONÇALVES, J. C. S.; BODE, K.; BRUNELLI, G., Projeto integrado e o papel da simulação computacional de desempenho ambiental, in: GONÇALVES, J. C. S., BODE, K. (Orgs.), Edifício Ambiental, primeira ed.: Oficina de Textos, São Paulo, 2015, pp. 237-238.

[15] GONÇALVES, J. C. S.; MOURA, N. C. S.; KUNIOCHI, E. M. U., Avaliação de desempenho, simulação computacional e o projeto arquitetônico in: GONÇALVES, J. C. S., BODE, K. (Orgs.), Edifício Ambiental, primeira ed.: Oficina de Textos, São Paulo, 2015, pp. 237-238.

[16] BRASIL. Decreto Nº 99.656, de 26 de outubro de 1990. Dispõe sobre a criação, nos órgãos e entidades da Administração Federal direta e indireta, da Comissão Interna de Conservação de Energia (Cice), nos casos que menciona, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/antigos/d99656.htm>. Acessado em: 20 de fevereiro de 2019.

[17] BRASIL. Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/LEIS_2001/L10295.htm> Acessado em: 20 de fevereiro de 2019.

[18] BRASIL. Instrução Normativa Nº01/2010 SLTI, de 19 de janeiro de 2010. IN que dispõe sobre os critérios de sustentabilidade ambiental na aquisição de bens, contratação de serviços ou obras pela Administração Pública Federal direta, autárquica e fundacional. Disponível em: <<https://www.governodigital.gov.br/documentos-e-arquivos/legislacao/INSTRUCAO%20NORMATIVA%20N.%2001%20de%202010%20-%20Compras%20Sustentav.pdf/view>>. Acessado em: 20 de fevereiro de 2019.

[19] BRASIL. Decreto Nº 7.746, de 5 de junho de 2012. Regulamenta o art. 3º da Lei nº 8.666, de 21 de junho de 1993, para estabelecer critérios e práticas para a promoção do desenvolvimento nacional sustentável nas contratações realizadas pela administração pública federal direta, autárquica e fundacional e pelas empresas estatais dependentes, e institui a Comissão Interministerial de Sustentabilidade na Administração Pública - CISAP. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Decreto/D7746.htm>. Acessado em: 20 de fevereiro de 2019.

[20] BRASIL. Instrução Normativa nº 10/2012 SLTI, de 12 de novembro de 2012. Estabelece regras para a elaboração dos Planos de Gestão de

Logística Sustentável de que trata o art. 16 do Decreto Nº 7.746, de 5 de junho de 2012 e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.licitacoessustentaveis.com/2012/11/in-mpogslti-n-10-plano-de-gestao.html>>. Acessado em: 20 de fevereiro de 2019.

[21] BRASIL. Instrução Normativa Nº 02/2014 SLTI, de 4 de junho de 2014. Dispõe sobre regras para a aquisição ou locação de máquinas e aparelhos consumidores de energia pela Administração Pública Federal direta, autárquica e fundacional, e uso da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) nos projetos e respectivas edificações públicas federais novas ou que recebam retrofit. Disponível em: <<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=05/06/2014&jornal=1&pagina=102&totalArquivos=164>>. Acessado em: 20 de fevereiro de 2019.

[22] BAKER, Nick, A reabilitação de edifícios, in: GONÇALVES, J. C. S., BODE, K., Edifício Ambiental, primeira ed.: Oficina de Textos, São Paulo, 2015, pp. 399-415.

[23] LANE, T. (citando Simons Construction Group), Our Dark Materials, in: Building, Londres, 2007. Disponível em: <<https://www.building.co.uk/focus/our-dark-materials/3099435.article>>. Acessado em: 13 de fevereiro de 2019.

[24] BAKER, Nick, The Handbook of Sustainable Refurbishment of Buildings. Primeira ed., Earthscan, Londres, 2009.

[25] AMANCIO, R. C. A., FABRICIO, M. M. Reabilitação de Edifícios Antigos para HIS: O Diagnóstico em Três Estudos de Caso. 2º Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído. Rio de Janeiro, 2011, pp. 571-584.

[26] Waltz, J. P. Computadorized Building Energy Simulation Handbook. The Fairmont Press, Liburn, 2000.