

ANÁLISES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM FASE DE PROJETO UTILIZANDO O BIM

Energy efficiency analysis in project phase using BIM

Filipe José de Sousa ¹; Luno Gomes de Oliveira ²



PALAVRAS CHAVE:

BIM;
Modelo Paramétrico;
Simulação Térmica;
NBR 15575;

KEYWORDS:

BIM;
Parametric Model;
Thermal simulation;
NBR 15575;

RESUMO: Este trabalho tem o objetivo de propor uso do BIM para avaliar o desempenho de uma edificação. Para isso, foram criados dois modelos virtuais como objetos de estudo: real e de referência, seguindo parâmetros da NBR 15575 (ABNT, 2021). A finalidade desse procedimento foi possibilitar a manipulação direta de variáveis relacionadas aos objetos de estudo (modelos virtuais) para testar a hipótese da pesquisa. A modelagem foi realizada no Revit para ser simulado em um software de análise energética, sendo possível obter um desempenho satisfatório em quase todos os parâmetros, com exceção da redução da carga térmica no nível superior. Após esta etapa, foi argumentado os principais potenciais e adversidades da implementação do BIM na simulação energética, mostrando que apesar das limitações, há benefícios para destacar, como redução de esforço no fluxo de trabalho, diminuição no tempo gasto ao conectar o projeto e simulações, além da formação de um banco de dados que podem ser replicados em outros. Portanto, foi verificado que existem benefícios e limitações quanto a aplicação de modelagem virtual no processo de simulação. No entanto, seus benefícios prevalecem sobre os pontos negativos, especialmente quando abordado métodos tradicionais.

ABSTRACT: This work aims to propose the use of BIM to evaluate the performance of a building. For this, two virtual models were created as study objects: real and reference, following parameters of the NBR 15575 (ABNT, 2021). The purpose of this procedure was to enable direct manipulation of variables related to the study objects (virtual models) to test the research hypothesis. The modeling was performed in Revit to be simulated in an energy analysis software, being possible to obtain a satisfactory performance in almost all parameters, except for the reduction of the thermal load on the upper level. After this step, the main potentials and adversities of the implementation of BIM in energy simulation were discussed, showing that despite the limitations, there are benefits to highlight, such as reduced effort in the workflow, reduced time spent connecting the project and simulations, in addition to the formation of a database that can be replicated in other processes. Therefore, it was verified that there are benefits and limitations regarding the application of virtual modeling in the simulation process. However, its benefits outweigh the negative points, especially when compared to traditional methods.

* Contato com os autores:

Publicado em 22 de maio de 2023

¹ e-mail: eng_filipe@outlook.com (F. J. de Sousa)

Bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Maurício de Nassau – Teresina (UNINASSAU).

² e-mail: lunoeste@gmail.com (L. G. de Oliveira)

Bacharel em Eng. Elétrica, Mestre em Automação e Controle (UFPI). Docente do Centro Universitário Maurício de Nassau – Teresina (UNINASSAU).

1. INTRODUÇÃO

O desempenho energético das edificações tem ganhado uma notoriedade no mundo. Da mesma forma, tem aumentado o interesse e necessidade pela aplicação de novos processos na abordagem para avaliação energética em projetos sustentáveis, incluindo a modelagem de energia, uma vez que o uso por edifícios é um dos principais contribuintes para o consumo energético devido ao aumento da população, estoque habitacional e melhores padrões de vida, justificando o aumento, já esperado (ELNABAWI, 2020).

Corroborando com este cenário, o último balanço energético nacional (EPE, 2021), aponta que edificações foram responsáveis por mais de 50% do consumo de energia elétrica no Brasil em 2020 (Figura 1), de forma que este valor foi distribuído por 27,6% do setor residencial, 15,7% do setor comercial, e 7,9% do setor público do total nacional.

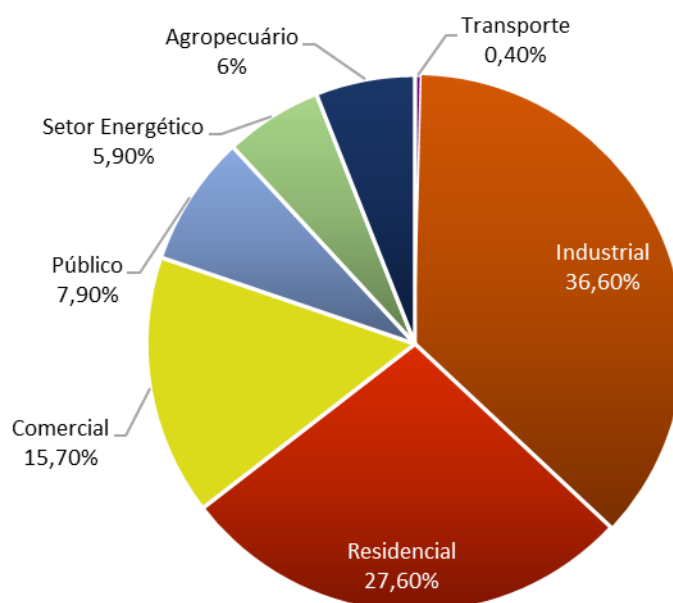


FIGURA 1: Gráfico da participação setorial no consumo de eletricidade.

FONTE: adaptado de (EPE, 2021).

Esse setor de edificações mostra tendência de crescimento nos últimos anos, não somente devido ao aumento de posse de equipamentos em consumidores residenciais, diante de um cenário de maior renda *per capita* a longo prazo, como também pela expansão do setor de comércio/serviços nessa projeção.

Já no que diz respeito ao panorama internacional recente, na visão da Agência Internacional de Energia (*International Energy Agency* – IEA), sobre as tendências de eficiência energética em todo o mundo (IEA, 2020), mostra que o progresso da eficiência energética, já lento, enfrenta ainda mais retrocessos no último ano. Esse impacto é justificado pela crise da pandemia Covid-19 que, não apenas carrega uma incerteza econômica, refletindo em uma baixa atratividade em investimentos tecnológicos voltados para o consumo de energia, mas também há um reflexo na mudança de padrão de mobilidade e comportamento, necessária e importante para o enfrentamento da pandemia, como as medidas de isolamento e distanciamento social.

Ainda, segundo o relatório internacional (IEA, 2020), no primeiro semestre de 2020, o uso de eletricidade em edifícios residenciais em alguns países cresceu de 20% a 30%, enquanto caiu cerca de 10% em edifícios comerciais. E conforme há uma retomada na circulação de pessoas, surge a necessidade de criar soluções construtivas para reduzir o risco de transmissão da Covid-19, como o aumento nas taxas de ventilação. No entanto, cerca de 30% da energia de um edifício é dissipada em ventilação, aumentando, proporcionalmente, o consumo energético.

Em vista disso, o setor de edifícios tem exigido necessidades por mudanças de estratégias para utilizar, de forma eficiente, a energia produzida, no entanto, durante o processo criativo de tomadas de decisões, parâmetros importantes são estabelecidos na etapa de projeto e a realidade mostra que análises térmicas são realizadas quando já existe a consolidação de dados relevantes para desempenho, sendo explicado pelo distanciamento de ensino entre essas duas áreas (método de projeto e análise energética), além do distanciamento entre as ferramentas de modelagem e de simulações termo energéticas, pois as análises tornam a concepção mais trabalhosa, visto o tempo despendido ao de conectar o desenvolvimento do projeto com as simulações (SOUZA, 2020).

Esses entraves surgem, uma vez que a análise energética com modelos tradicionais, requer uma análise separada, realizada no final do processo, o que reduz oportunidades de modificações com o potencial para incrementar o desempenho da construção, ou seja, isso significa que o início da análise térmica acontece após consolidação de algumas decisões relevantes e potencialmente críticas para a eficiência do empreendimento (OLIVEIRA; BITTENCOURT; DÓRIA, 2020).

Partindo dessa problemática, por avaliar impactos de decisões arquitetônicas, bem como o monitoramento de tomadas de decisão no ciclo de vida da edificação, além do gerenciamento e colaboração da informação com todos os profissionais envolvidos de diferentes áreas, surge uma necessidade em utilizar uma nova abordagem.

Assim, a proposta em utilizar modelos virtuais paramétricos que se comunicam entre si, mostra que, com o BIM, há uma retroalimentação, quase que em tempo real nas ações do projeto, incorporando um conjunto de análise de energia (EASTMAN et al., 2014).

“Se um modelo de energia de edifício pode ser gerado sem falhas a partir de um modelo BIM, o processo de simulação de energia pode ser melhor integrado ao projeto, pode ser mais competente e economizar tempo” (ELNABAWI, 2020, tradução própria).

1.1 OBJETIVO

Em frente a hipótese de que a capacidade de vincular o modelo virtual da construção a vários tipos de ferramentas de análise proporciona diversas oportunidades para melhorar a condição do fluxo de trabalho, essa pesquisa tem como objetivo geral propor o uso de modelos paramétricos que comunicam entre si, em fase de projeto, para avaliar a eficiência energética de uma edificação.

Para isso, destacam-se os seguintes objetivos específicos: apontar procedimentos normativos para que seja possível partir de uma referência de análise avaliativa; desenvolver o modelo energético a partir de um modelo arquitetônico; formular a avaliação do desempenho energético com ferramentas de simulação integradas com a modelagem; por fim, estimar e argumentar sobre os benefícios e adversidades da implementação.

2. MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO

Apesar da popularização nas últimas duas décadas, as primeiras ideias do *Building Information Modeling* (BIM) têm suas origens na década de 1970, com C. Eastman, onde diferentes termos e conceitos deram continuidade e ajudaram a formular as primeiras bases conceituais, até meados dos anos 2000, ganhando mais notoriedade e esforços para a comercialização da tecnologia (GASPAR, 2019).

Com isso surge a necessidade de um consenso na academia e mercado e, para isso, o arquiteto Jerry Laiserin, especialista em tecnologia aplicada à construção civil, entende que o termo BIM é o mais adequado pelo auto significado que o acrônimo possui, pois a palavra *Building* consegue comunicar ideias de projeto, construção e operação de edifícios; o uso da palavra *Information* sugere que *softwares* sejam utilizados para lidar mais do que apenas geometrias; *Modeling*, para o autor, é uma palavra que carrega em

si a fundamentação para a representação de processos de simulação e gestão das informações da construção (LAISERIN, 2002).

Atualmente, é visto como uma mudança tecnológica emergente e processual pela indústria da construção (SUCCAR, 2009), na medida que é possível obter uma avaliação cuidadosa e fidedigna, que permite uma tomada de decisão mais eficiente e, preferencialmente, em fase de projeto (EASTMAN et al., 2014), portanto, uma inovação que promete trazer mudanças nos processos de gestão de obras e projetos, englobando todo o ciclo de vida dos empreendimentos.

Esta abordagem reflete que a definição de BIM não está limitada a ser apenas uma ferramenta, mas sim uma soma de políticas, processos e tecnologias que viabilizam uma metodologia para o gerenciamento de um modelo virtual de um edifício (SUCCAR, 2009). Eastman et al. (2014) ainda reforçam que “BIM não é uma coisa ou um tipo de *software*, mas uma atividade humana que envolve mudanças amplas no processo de construção”.

3. PROCESSO DE PROJETO

É na etapa de processo de projeto que é definida a maior quantidade de informação inicial sobre uma edificação, pois além de organizar a base de uma estrutura documental para a entrada de informações, em fases posteriores. Com isso, decisões tomadas com o avanço nas fases de projeto, podem impactar na funcionalidade e custo durante o ciclo de vida da construção, enfatizando a importância de prever, ainda em fase de projeto, diferentes configurações arquitetônicas e seus impactos no desempenho da edificação (EASTMAN et al., 2014), conforme representado na curva de MacLeamy (Figura 2) que ilustra a relação entre esforço de projeto e tempo, indicando como o esforço costuma ser distribuído (processo tradicional) e como pode ser redistribuído como resultado da aplicação do BIM.

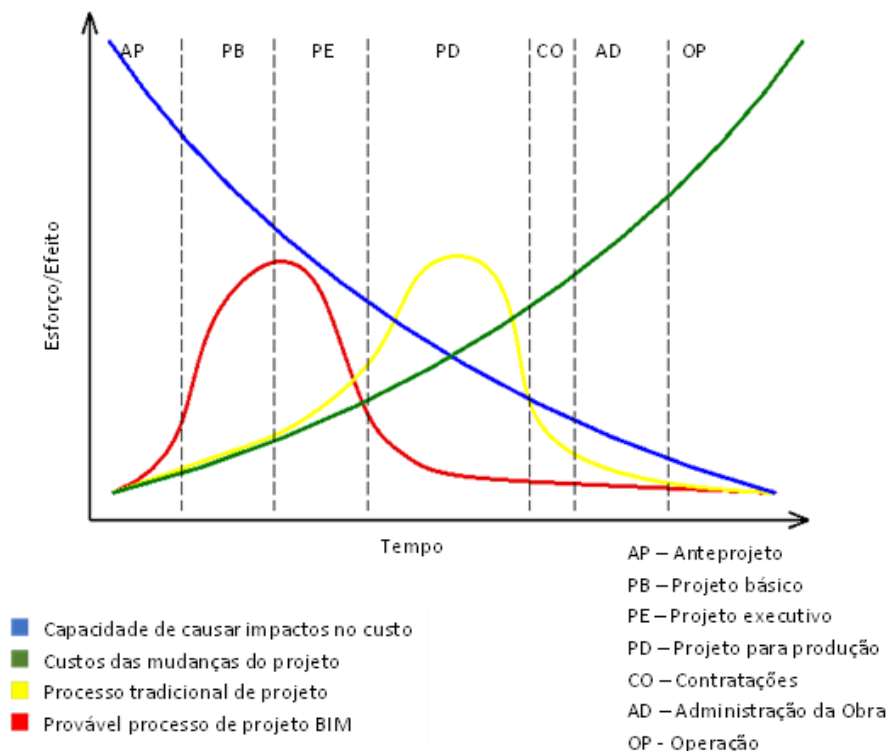


FIGURA 2: Relação entre esforço e impacto.

FONTE: adaptado de (EASTMAN et al, 2014).

Ao adotar o processo recomendado de elaboração de projeto, a concentração das tomadas de decisões acontece em uma etapa anterior a do tradicional, quando existe uma maior possibilidade de

impacto e menor custo com alterações, de forma que é indispensável a participação coordenada e colaborativa dos envolvidos nas fases do empreendimento o que, somado à capacidade de simulação virtual, possibilita que o projeto esteja muito mais coeso e desenvolvido antes do consumo de recursos de alto investimento, reduzindo retrabalho, conflitos potenciais, além de desperdício de mão de obra, materiais e tempo (ABDI, 2017).

Isso carrega impactos positivos, pois ao rever a problemática apresentada que é a necessidade de trabalhar com projetos mais complexos e uma abordagem colaborativa entre os envolvidos no processo, o BIM facilita a coordenação da informação, possibilitando análises preliminares do comportamento da edificação em cada etapa do ciclo. Dessa forma, ele pode aproximar os estudos de simulações com a atividade de construção, promovendo maior integração entre os dois.

Nesse sentido, apesar do uso de ferramentas computacionais na avaliação do desempenho energético em edifícios, o processo de modelagem de energia não é totalmente incorporado ao processo de *design*, pois necessita de processos manuais de transcrição de informações, aumentando o tempo gasto na criação de modelos de análise de energia e a chance de erros nos resultados da simulação (BRACHT; MELO; LAMBERTS, 2021).

Assim, uma alternativa é o uso da modelagem paramétrica ao representar objetos por parâmetros e regras que determinam a geometria, assim como algumas propriedades e características não geométricas. Com isso, há uma possibilidade de retroalimentação de informação dos objetos de acordo com a escolha do usuário ou mudanças de necessidade (EASTMAN et al., 2014). Nessa perspectiva, o componente do projeto passa a ser:

Um componente BIM é um “objeto virtual”, uma simulação de um objeto construído ou a construir, contendo a representação de seus materiais construtivos, suas dimensões reais, suas características de desempenho térmico e quaisquer outras qualidades demandadas pelo projeto (ABDI, 2017, p. 20).

Um exemplo para ilustrar o conceito de modelagem paramétrica é observar uma família de paredes (Figura 3), onde no CAD 3D tradicional, cada aspecto geométrico do elemento deve ser editado manualmente pelos usuários. Diferente de uma modelagem paramétrica, onde as geometrias da forma e do conjunto, ajustam-se automaticamente às modificações do contexto e aos controles de critérios do usuário (EASTMAN et al., 2014).

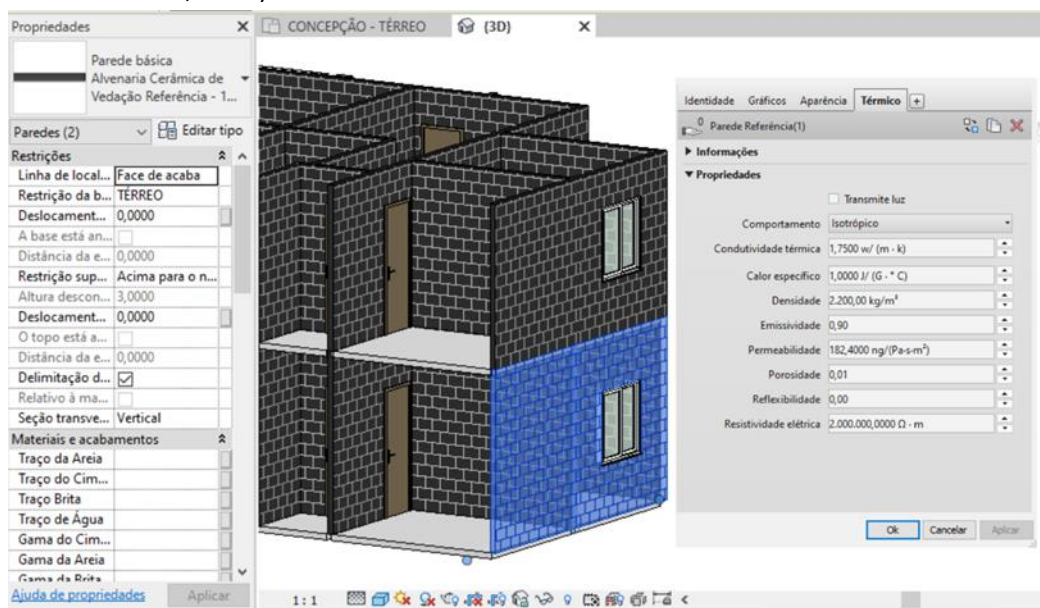


FIGURA 3: Figura conceitual de uma família de objeto parede com dados associados.

FONTE: o autor (2021).

Dentre as possibilidades, podem ser associados junto ao objeto, diferentes tipos de dados, como referências relacionadas a performance térmica ou acústica, ligações com documentos externos, como um manual de uso e um termo de garantia, seja também detalhes construtivos, ou uma especificação mais complexa, seja ainda a partir de uma associação entre si, de modo a formar outros parâmetros de saída, como, por exemplo, vínculos com serviços e atividades que facilitam a determinação de custo e tempo (ABDI, 2017).

4. NORMA DE DESEMPENHO NBR 15575 (ABNT, 2021)

A norma de desempenho de edificações habitacionais NBR 15575 (ABNT, 2021) passou a valer em 2013, com o objetivo de estabelecer métodos, requisitos e critérios de avaliação de desempenho de ambientes habitacionais, para atender exigências dos usuários. No entanto, considerando limitações no método, foi elaborada uma proposta de revisão, sendo finalizada com a publicação da nova versão no ano de 2021.

De acordo com o método apontado pela NBR 15575 (ABNT, 2021), a avaliação do desempenho térmico pode ser realizada por meio de duas técnicas, o método simplificado, que verifica o desempenho térmico da unidade habitacional (UH) através da conferência de características geométricas e de propriedades térmicas dos sistemas construtivos, segundo valores padrões para esses parâmetros. E o método de simulação computacional que verifica o desempenho através de modelos computacionais, elaborados em programas que sejam compatíveis com os critérios normativos, iniciando a partir de condições delimitadas para o desenvolvimento dos modelos: real (mantém as características geométricas, propriedades térmicas e composições) e de referência (adotando-se características de referência).

O esquema da Figura 4 resume as principais etapas dos procedimentos de simulação computacional para avaliação de desempenho.

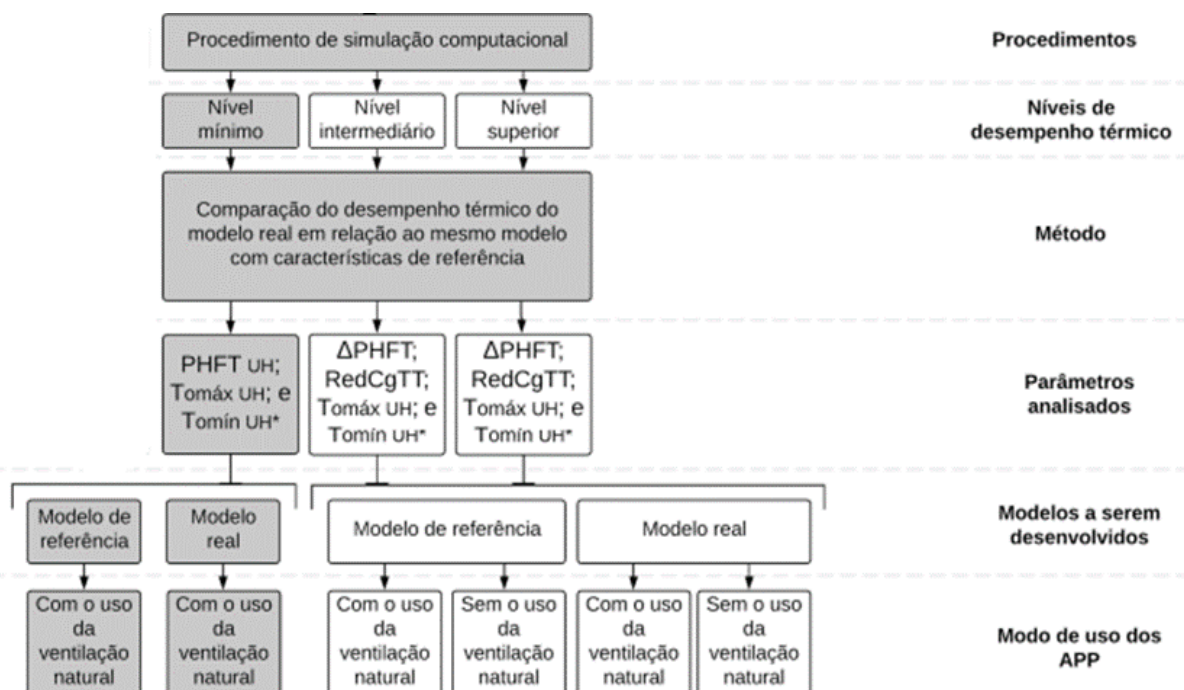


FIGURA 4: Procedimentos de avaliação de desempenho térmico.

FONTE: adaptado de NBR 15575 (ABNT, 2021).

Para isso, são definidos três os níveis de desempenho: mínimo, intermediário e superior, de forma que todos os sistemas devem atingir pelo menos o nível mínimo, considerando apenas os ambientes de

permanência prolongada (APP). E quando avaliado a variável de saída de carga térmica, deve ser criado modelos sem o uso de ventilação natural.

A partir do uso da ventilação natural, devem ser determinados: o percentual de horas de ocupação dos APP dentro de uma faixa de temperatura operativa (PHFT_{APP}) e a temperatura operativa anual máxima (Tomá_{xAPP}) de cada APP, considerando apenas o tempo que o espaço estiver ocupado. Além disso, quando a edificação estiver localizada nas zonas bioclimáticas 1, 2, 3 ou 4, também deve ser determinada a temperatura operativa anual mínima (Tomín_{APP}) de cada APP, considerando apenas os períodos de ocupação. Com os valores de cada APP determinar os valores da UH.

Quando não considerar o uso da ventilação natural, deve ser determinado o somatório anual dos valores horários da carga térmica de refrigeração (CgTR_{APP}) e da carga térmica de aquecimento (CgTA_{APP}) para assim encontrar o somatório anual dos valores horários da carga térmica total da UH (CgTT_{UH}).

4.1 TEMPERATURAS OPERATIVAS

Pode ser definida com uma relação média entre a temperatura do bulbo seco e a temperatura média do ambiente na troca de calor por radiação, sendo que os extremos de temperatura operativa anual máxima (Tomá_x) e de temperatura operativa anual mínima (Tomín) são observados durante a ocupação em um APP de uma unidade habitacional, tendo em conta o maior e menor valor dentre eles, respectivamente (ABNT, 2021).

O critério utilizado para todos os níveis de desempenho (mínimo, intermediário ou superior), independente da zona bioclimática, é que a temperatura operativa anual máxima do modelo real deve ser menor ou igual à obtida para o modelo de referência, após somado um valor de tolerância ($\Delta T_{Omáx}$), conforme Equação 1:

$$T_{OmáxUH,real} \leq T_{OmáxUH,ref} + \Delta T_{Omáx} \quad \text{Eq. [1]}$$

Em que:

$T_{OmáxUH,real}$ = Temperatura operativa máxima da unidade habitacional do modelo real (°C);

$T_{OmáxUH,ref}$ = Temperatura operativa máxima da unidade habitacional do modelo referência (°C);

$\Delta T_{Omáx}$ = Valor de tolerância máximo (°C).

Sendo que $\Delta T_{Omáx}$ é a tolerância que pode ser igual a 2° para as UH unifamiliares e para as UH em edificações multifamiliares localizadas no pavimento de cobertura, ou pode ser igual a 1°C para as UH em edificações multifamiliares localizadas nos pavimentos térreo ou tipo.

Já em algumas regiões do sul e sudeste (zonas bioclimáticas 1,2,3 ou 4) a Tomín do modelo real deve ser igual ou superior após reduzido tolerância de 1°C para todas as unidades avaliadas, segundo Equação 2:

$$T_{OmínUH,real} \geq T_{OmínUH,ref} - \Delta T_{Omín} \quad \text{Eq. [2]}$$

Em que:

$T_{OmáxUH,real}$ = Temperatura operativa máxima da unidade habitacional do modelo real (°C);

$T_{OmáxUH,ref}$ = Temperatura operativa máxima da unidade habitacional do modelo referência (°C);

$\Delta T_{Omín}$ = Valor de tolerância mínimo (°C).

4.2 PERCENTUAL DE HORAS OCUPADAS DENTRO DE UMA FAIXA DE TEMPERATURA OPERATIVA

Este parâmetro é a relação entre horas de ocupação dentro de uma faixa de temperatura operativa da Tabela 1 e o total de horas de ocupação do ambiente durante o ano, de forma que a determinação do

intervalo para cada clima é realizada por meio da média anual da temperatura externa de bulbo seco (TBSm) do arquivo climático utilizado.

TABELA 1: Faixas de temperatura operativa para identificação do PHFT.

| Intervalo | TBSm | Faixa de temperatura operativa |
|-------------|--------------------------|--------------------------------|
| Intervalo 1 | TBSm < 25,0 °C | 18,0 °C < ToAPP < 26,0 °C |
| Intervalo 2 | 25,0 °C ≤ TBSm < 27,0 °C | ToAPP < 28,0 °C |
| Intervalo 3 | TBSm ≥ 27,0 °C | ToAPP < 30,0 °C |

FONTE: Adaptado de NBR 15575 (ABNT, 2021).

Ao longo de um ano e durante os períodos de ocupação dos APP, para o atendimento ao nível mínimo (M), o modelo real de simulação computacional deve apresentar $PHFT_{UH,real}$ que seja superior a 90 % do obtido para o modelo de referência ($PHFT_{UH,ref}$). E nos níveis intermediário (I) e superior (S), a diferença entre os valores reais e de referência ($\Delta PHFT$) deve ser maior que o critério mínimo ($\Delta PHFT_{min}$), tal que para valores de PHFT menor que 70 %, o critério mínimo obedece às equações do ábaco da Figura 5 (ABNT, 2021).

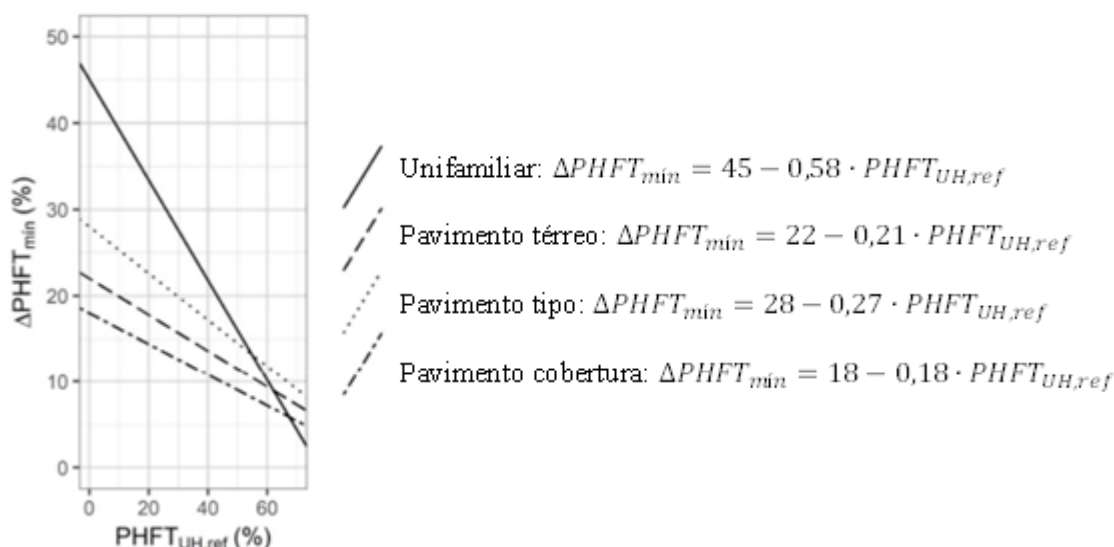


FIGURA 5: Ábaco e equações para cálculo do $\Delta PHFT_{min}$ quando $PHFT_{ref}$ for inferior a 70%.

FONTE: Adaptado de NBR 15575 (ABNT, 2021).

4.3 CARGA TÉRMICA TOTAL

É a quantidade absoluta de calor, adicionada ou retirada do ambiente, para manter as condições de conforto aceitáveis, expressa pela soma das cargas térmicas anuais de refrigeração ($CgTR$) e aquecimento ($CgTA$) de uma UH (Equação 3):

$$CgTT_{UH} = CgTR_{UH} + CgTA_{UH} \quad \text{Eq. [3]}$$

Em que:

$CgTT_{UH}$ = Carga térmica total da unidade habitacional (kWh/ano);

$CgTR_{UH}$ = Carga térmica de resfriamento da unidade habitacional (kWh/ano);

$CgTA_{UH}$ = Carga térmica de aquecimento da unidade habitacional (kWh/ano).

Para intervalos 2 e 3 da Tabela 1, é desconsiderado a carga térmica de aquecimento. Assim, a avaliação dos níveis se baseia na redução da carga térmica total (RedCgTT) expressa pela Equação 4:

$$RedCgTT = \left[1 - \frac{CgTT_{UH,real}}{CgTT_{UH,ref}} \right] \cdot 100 \quad \text{Eq. [4]}$$

Em que:

$RedCgTT$ = Redução percentual da carga térmica total (%);

$CgTT_{UH,real}$ = Carga térmica total da unidade habitacional do modelo real (kWh/ano);

$CgTT_{UH,ref}$ = Carga térmica total da unidade habitacional do modelo referência (kWh/ano).

Nesse contexto, o critério de avaliação obedece ao valor mínimo ($RedCgTT_{mín}$) no modelo de simulação sem o uso da ventilação natural, nos períodos em que os APP estiverem ocupados, de forma que para um modelo de referência com $PHFT_{UH,ref}$ inferior a 70 %, a $RedCgTT_{mín}$ é igual a zero, ou seja, a $CgTT_{UH,real}$ do modelo real deve ser menor ou igual à $CgTT_{UH,ref}$ do modelo de referência. No entanto, em nível intermediário, se o modelo de referência possuir $PHFT_{UH,ref}$ igual ou superior a 70%, o modelo real deve obter redução da carga térmica ($RedCgTT$) de modo a atender à $RedCgTT_{mín}$, estabelecida na Tabela 2, sendo analisado em relação à área de piso da UH (Ap_{UH}). E em nível superior, indefere o valor do $PHFT_{UH,ref}$, seguindo limites diferentes do intermediário, mas ainda em relação à área de piso da UH (Ap_{UH}) (ABNT, 2021).

TABELA 2: Redução mínima da carga térmica total para níveis intermediário e superior.

| Critério | Unifamiliar | Pav. Térreo | Pav. Tipo | Pav. Cobertura |
|---|-------------|-----------------------------------|-----------|----------------|
| Intermediário e $PHFT_{UH,ref} > 70\%$ | | $RedCgTT_{mín}$ | | |
| $CgTT_{UH,ref} / Ap_{UH} < 100$ | 17 | 15 | 22 | 15 |
| $CgTT_{UH,ref} / Ap_{UH} \geq 100$ | 27 | 20 | 25 | 20 |
| Superior | | $RedCgTT_{mín}$ | | |
| $CgTT_{UH,ref} / Ap_{UH} < 100$ | 35 | 30 | 45 | 30 |
| $CgTT_{UH,ref} / Ap_{UH} \geq 100$ | 55 | 40 | 50 | 40 |

FONTE: Adaptado de NBR 15575 (ABNT, 2021).

5. METODOLOGIA

O procedimento técnico da pesquisa é do tipo experimental, pois é necessário manipular diretamente variáveis relacionadas com o objeto de estudo (modelo virtual da arquitetura) com a finalidade de testar hipótese da pesquisa. Assim, apresenta uma abordagem quantitativa de um processo de simulação de análise de eficiência energética, com a implementação do BIM, no fluxo de projeto, que possui como fundamentação a análise com parâmetros normativos, ao avaliar dois modelos digitais: um modelo real e um modelo de referência, conforme passos definidos pela NBR 15575 – 1 (ABNT, 2021). O objetivo é validar as informações inseridas em todas as fases do projeto, reduzindo a ocorrência de erros e retrabalho.

A tipologia escolhida para o caso base tem como fundamentação projetos característicos de programas habitacionais do Governo Federal para família de baixa renda (CAIXA, 2017). Dentre opções analisadas, optou-se por um caso representativo de uma edificação multifamiliar em formato H, com quatro pavimentos. Na Figura 6, está caracterizado a planta baixa do edifício (a esquerda) e a vista 3D (a direita).

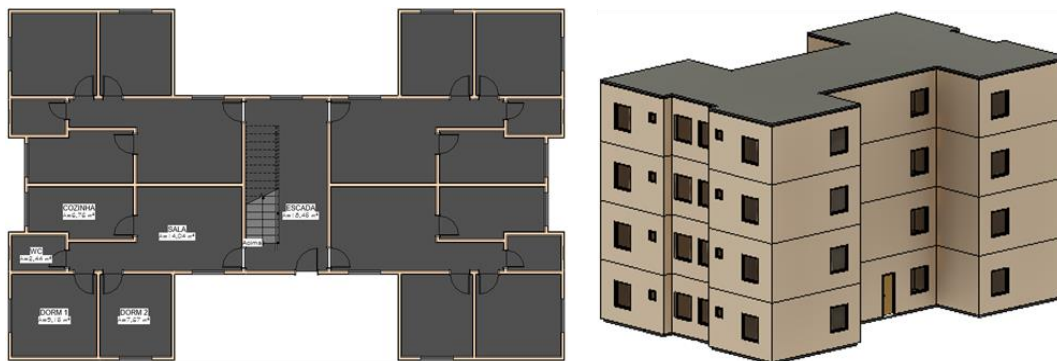


FIGURA 6: Planta baixa (esquerda) e vista 3D (direita) da edificação base.
FONTE: adaptado de (CAIXA, 2017).

Conforme imagem, esse bloco residencial multifamiliar é composto por quatro apartamentos por andar com 40,07 m² cada, quatro pavimentos tipo, totalizando 16 unidades habitacionais (UH), cada unidade composta por sala, dois dormitórios, banheiro e cozinha. Isso forma uma área construída de 817,88 m².

O *software* de modelagem escolhido foi o Revit (AUTODESK, 2021a), uma vez que é uma ferramenta de fácil aprendizagem com uma funcionalidade organizada em uma interface amigável e bem projetada, além de conter um vasto conjunto de biblioteca de objetos criadas por terceiros e, devido a sua posição no mercado, é a interface preferida para ligações diretas. Também é possível gerar e gerenciar informações com base em atualizações, tanto no desenho, quanto em vista de modelos, com suporte em operações simultâneas no mesmo projeto (EASTMAN et al. 2014).

Para a configuração do entorno, é informado dados de entrada relacionados a coordenadas geográficas e orientação, de forma que o Revit carrega dados da estação climática listada no 2007 *ASHRAE Handbook* que esteja mais próxima da localização do projeto (AUTODESK, 2021b). Para este caso representativo, foi escolhido a cidade de Teresina, cujos dados meteorológicos da estação climática estão listados na Figura 7.

Localização Tempo Terreno

Usar dados do projeto AVAC da estação meteorológica (1202562_2006)

| Temperaturas do projeto de refrigeração | | | | | | | | | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez |
| Bulbo seco | 34 °C | 34 °C | 33 °C | 32 °C | 33 °C | 33 °C | 34 °C | 37 °C | 38 °C | 38 °C | 38 °C | 38 °C |
| Bulbo molhado | 26 °C | 26 °C | 24 °C | 27 °C | 25 °C | 24 °C | 22 °C | 24 °C | 25 °C | 24 °C | 23 °C | 23 °C |
| Faixa média diária | 11 °C | 11 °C | 10 °C | 10 °C | 10 °C | 12 °C | 13 °C | 15 °C | 14 °C | 13 °C | 13 °C | 12 °C |

Temperatura de projeto de aquecimento: 21 °C

Número de visibilidade: 1,0

FIGURA 7: Configurações de localização do clima e terreno.
FONTE: o autor (2021).

Na modelagem, foi utilizado a propriedade de agrupamentos de elementos (figura 8), já que é o adequado para criar entidades definidas por *design* replicados ou que sejam compartilhados a vários projetos de construção, com uma ligação entre cada instância de um grupo estabelecido (AUTODESK, 2021b).

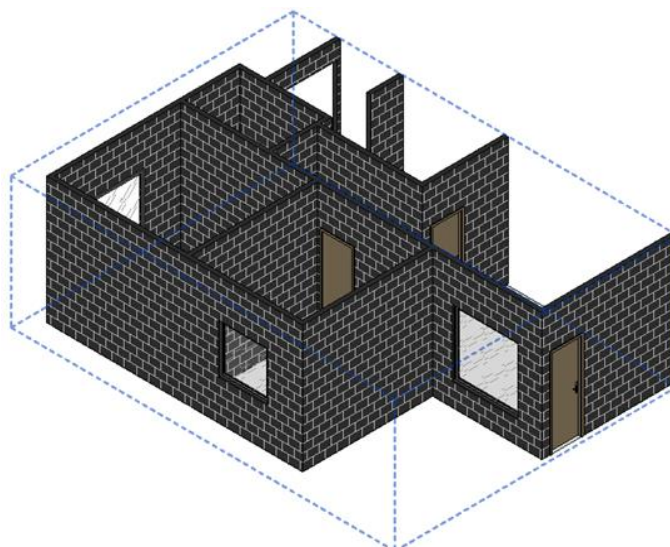


FIGURA 8: Grupo de elementos da unidade habitacional.

FONTE: o autor (2021).

Dessa forma, com a modelagem de uma única unidade habitacional é possível criar toda a edificação com seus padrões de ocupação, padrão de iluminação, geometria, dentre outras propriedades, pois é criado parâmetros comuns entre os apartamentos, permitindo que a representação não seja limitada apenas a uma situação mais crítica, que seria comumente utilizada em processos tradicionais.

No modelo de referência, foi adotado paredes e pisos relativos a um elemento de vedação com 100 mm de espessura e uma laje de cobertura da mesma espessura, juntamente com uma telha de 6 mm, compostos por materiais com propriedades térmicas de acordo a Tabela 3. Isso vale para ambientes de permanência prolongada (APP) e ambientes de permanência temporária (APT), de forma que os pisos de todos os pavimentos, assim como as paredes internas e externas, apresentam essas características em todo o modelo.

TABELA 3: Propriedades térmicas para o modelo de referência

| Elemento | Condutividade térmica W/(m.K) | Calor específico J/(kg.K) | Absortância | Emissividade | Densidade kg/m ³ |
|-----------------------------------|-------------------------------|---------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------------|
| Paredes (100 mm) | 1,75 | 1000 | 0,58 | 0,9 | 2200 |
| Pisos (100 mm) | 1,75 | 1000 | Valor do modelo real | Valor do modelo real | 2200 |
| Telha (6 mm) | 0,65 | 840 | 0,65 | 0,9 | 1700 |
| Laje de cobertura (100 mm) | 1,75 | 1000 | Valor do modelo real | Valor do modelo real | 2200 |

FONTE: Adaptado de NBR 15575 (ABNT, 2021).

Para as aberturas, foi seguido os dados de entrada normativos para os elementos transparentes e de ventilação que compõem o modelo de referência, adotando transmitância térmica de 5,70 W/m²K e fator solar (FS) de 0,87, considerando um percentual de elementos transparente de 17%.

Já a ocorrência de cargas internas é modelada na edificação realizada, igualmente, para o modelo real e para o modelo de referência, considerando a ocupação dos usuários nos APP, além do uso de iluminação artificial e de equipamentos, seguindo os padrões de uso estabelecidos. A Figura 9 exemplifica, em gráfico, valores de ocupação e de iluminação de um dormitório, segundo NBR 15575 (ABNT, 2021).

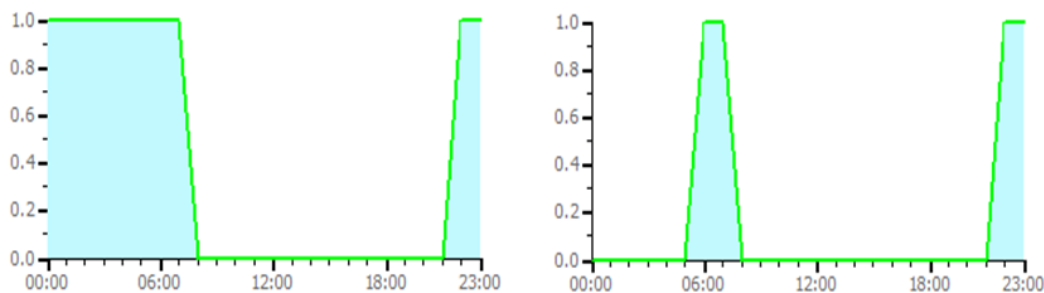


FIGURA 9: Padrão de ocupação (esquerda) e padrão de iluminação (direita) de um dormitório.

FONTE: o autor (2021).

O padrão de ocupação e do uso de sistema de iluminação artificial e equipamentos, são considerados os mesmos para todos os dias do ano, incluindo finais de semana, conforme os valores normativos.

Já o modelo real apresenta parâmetros diferentes para a envoltória da edificação referência. Para o caso base foi considerado uma envoltória formada, em seu núcleo, por blocos cerâmicos e uma argamassa de assentamento, resultando em paredes, externas e internas, de 15 cm de espessura, cujas propriedades são consideradas os valores da NBR 15220-2 (ABNT, 2005), conforme Tabela 4.

TABELA 4: Propriedades térmicas utilizados nos componentes do modelo real.

| Materiais | Condutividade | Calor específico | Densidade |
|---------------------------|---------------|------------------|-----------|
| Argamassa comum | 1,15 | 1,00 | 1800-2100 |
| Tijolos e telhas de barro | 1,05 | 0,92 | 1800-2000 |
| Concreto normal | 1,75 | 1,00 | 2200-2400 |
| Vidro comum | 1,00 | 0,84 | 2500 |

FONTE: adaptado de NBR 15220 (ABNT, 2005).

Com isso, os dados de entrada não mencionados foram representados da mesma maneira para o modelo real e para a referência, obedecendo as propriedades do modelo real.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para seguir com os resultados, foi escolhido o *software IES Virtual Environment* (IES, 2021) que possui validação internacional, estando de acordo com a norma *ASHARAE 140*, além de abranger uma grande gama de recursos e uma boa interoperabilidade com o *Revit* (AUTODESK, 2021a), com uma simulação dos principais parâmetros de desempenho termo energético das edificações residenciais (ALMEIDA, 2019).

Os resultados foram obtidos a partir de simulação em seus módulos, como o *SunCast*, que permite a análise do impacto da radiação solar no edifício; o *Apache*, com o qual se realiza simulações de cargas térmicas; o *ApacheHVAC*, para sistemas de ar-condicionado e aquecimento; e o *MacroFlo*, para simulações de circulação do ar.

Na avaliação do critério da temperatura operativa, foi observado que todos os níveis foram atendidos, independente da tipologia do pavimento (Figura 10).

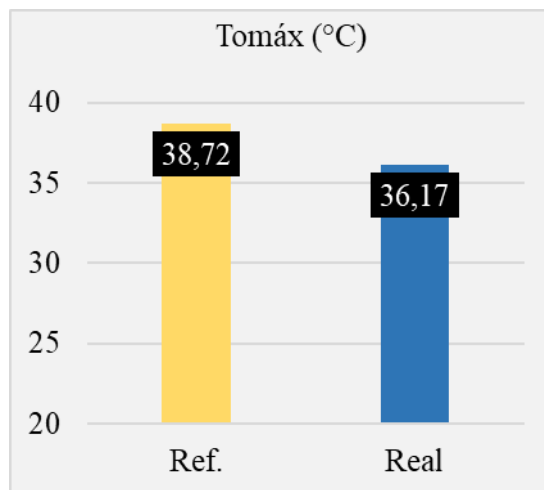


FIGURA 10: Temperatura operativa máxima.
FONTE: o autor (2021).

A diferença entre as temperaturas máximas foi de 2,55°C, superior a tolerância de 2°C, para a situação mais desfavorável definida pela norma, de forma que esses valores são os mesmos para todos os níveis.

A partir dos dados meteorológicos da estação climática, a cidade de Teresina escolhida para o caso base, está dentro do intervalo 3 da Tabela 1 e com uma faixa de temperatura operativa correspondente a um intervalo inferior a 30° C. Esse intervalo foi considerado para a análise do parâmetro de percentual de horas ocupadas dentro de uma faixa de temperatura operativa (Figura 11) que foi atendido todos os níveis de desempenho.

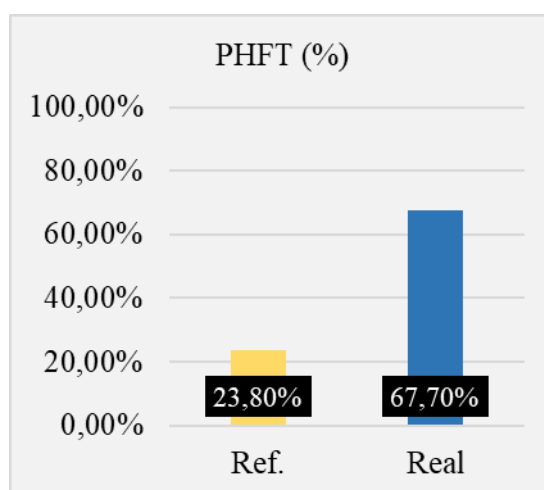


FIGURA 11: Percentual de horas ocupadas dentro de uma faixa de temperatura operativa.
FONTE: o autor (2021).

Para a simulação, foi considerado o período de um ano seguindo o padrão de ocupação dos ambientes de permanência prolongada, observando uma melhora no modelo real que foi superior a 200% quanto à referência, atendendo ao nível mínimo que exige 90%.

Já para os níveis intermediário e superior, a diferença entre os valores do modelo real e o de referência foi de 43,9%, maior que todos os critérios que estão definidos nas equações do ábaco da figura 5, cujos valores mínimos correspondentes para cada tipologia são de 17%, 21,6% e 13,7%, respectivamente para pavimentos térreo, tipo e cobertura.

Quanto o parâmetro da carga térmica, em razão da localização da cidade para o caso base, é analisado apenas a carga térmica de resfriamento (Figura 12).

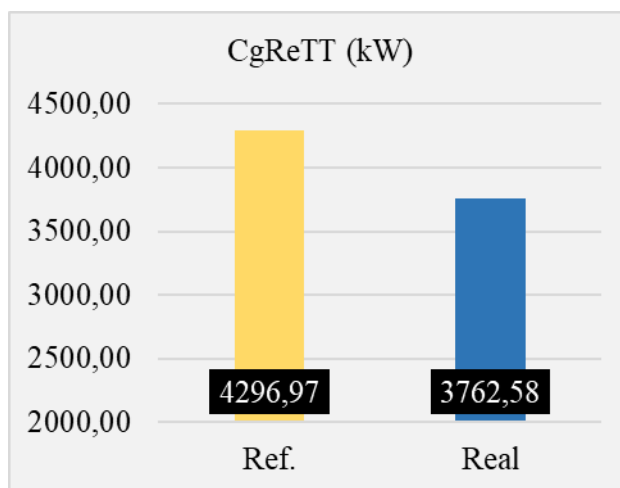


FIGURA 12: Carga térmica total.

FONTE: o autor (2021).

Como o $PHFT_{ref}$ foi inferior a 70%, o nível intermediário foi atendido, pois a carga térmica do modelo real é menor que o modelo de referência. Portanto, é notável que o desempenho foi tolerável, ao permitir temperaturas aceitáveis durante o tempo em que era naturalmente ventilado, no entanto, o nível superior não foi satisfeito, pois sabendo que a relação entre a carga térmica e área de piso é menor que 100, independente da tipologia, a redução percentual foi inferior aos critérios mínimos da Tabela 2, com um valor de 12,44%.

Ainda sobre essas etapas de modelagem e simulação, foram confirmadas algumas limitações quanto a integridade da informação entre os *softwares*. Elnabawi (2020), ao investigar a transformação de dados de modelos construtivos e energéticos para o processo de simulação, revelou alguns problemas relacionados à entrada de dados BIM e a interpretação no modelo energético que também surgiram no desenvolvimento do trabalho, como exemplo de pequenas diferenças no volume, onde no IES-VE (IES, 2021) teve mais volume do que foi realmente especificado, tal que com um grande projeto certamente afetaria os cálculos de consumo de energia. Essa desconformidade de volume é justificada pela diferença entre os programas na abordagem de cálculo da área e do volume.

Ademais, foi verificado que alguns dados foram customizados e exportados para o IES-VE (IES, 2021) e não conseguiram manter a integridade da transferência, passando a usar seu próprio *template* para sobrescrever os dados importados (ELNABAWI, 2020). Quanto a esse problema, pode ser facilmente contornado ao ajustar configurações de exportação.

É válido lembrar que segundo Almeida (2019), ao avaliar potencialidades e limitações da aplicação do BIM no ensaio energético, aponta que os principais problemas estão relacionados à falta da configuração de parâmetros mais avançados para a simulação e na definição de configurações previamente definidas, que apesar de serem interessantes para análises iniciais, não são atrativas no desenvolvimento final. O mesmo autor ainda levanta uma discussão sobre conhecimento interdisciplinar prévio do usuário que envolva processo digital, além de conceitos e estratégias bioclimáticas relacionadas ao procedimento de simulação. A falta desse conhecimento pode limitar a efetividade da aplicação do BIM, já que os parâmetros podem não ser bem configurados e as soluções propostas podem não ser as mais adequadas.

Diante dos pontos levantados, é notável que as principais barreiras nas etapas de troca de informação entre BIM e modelo energético estão relacionadas a perdas de dados, inconsistências nas transformações geométricas e técnicas de modelagem de elementos de construção (BRACHT; MELO e LAMBERTS, 2021). Isso remete a necessidade de ter rotinas de verificações para a gestão da informação, a fim de que ela seja criada, separada e validada. Assim, a inspeção de qualidade do modelo

é fundamental no fluxo de projeto, de forma que a retroalimentação faça com que alterações resultem em ações com fluidez contínua e dados sejam gerados da mesma forma, evitando retrabalho.

No fim, isso automatiza o processo ao invés de automatizar o erro, como exemplo na decisão por implementar BIM no processo de projeto em que, no primeiro momento, é necessário demandar esforço para inserir novos dados de entrada. Todavia, a informação criada fará parte de um banco de dados do *template*, impactando o fluxo de trabalho de novas simulações, diminuindo o esforço em processos de projetos futuros que utilizem a mesma base para modelagem, sendo possível utilizar parâmetros de modelos anteriores.

Nessa perspectiva, apesar das adversidades, as potencialidades superam as ineficiências de abordagens tradicionais, uma vez que a utilização de interfaces amigáveis permitiu uma facilidade de acesso às informações que contribuem no desempenho final da unidade construída, sendo possível otimizar o resultado (ALMEIDA, 2019).

Por fim, os modelos energéticos, baseados em BIM, podem ser uma ferramenta muito confiável para projetos de edifícios sustentáveis e de baixo consumo de energia, fornecendo melhor colaboração entre os profissionais envolvidos (ELNABAWI, 2020). Isso é possível na medida em que as concepções se tornam menos trabalhosa, além reduzir o tempo gasto ao conectar o desenvolvimento do projeto com as simulações.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o objetivo de propor uso do BIM em fase de projeto para avaliar o desempenho energético de uma edificação, foi verificado que existem benefícios e limitações quanto a aplicação de modelagem virtual no processo de simulação. Isso foi constatado após realizar procedimentos normativos e desenvolver o modelo energético a partir do arquitetônico, para que fosse possível formular a avaliação de desempenho.

Para tanto, foram criados dois modelos: real e de referência, seguindo parâmetros da norma NBR 15575 (ABNT, 2021), para o método de simulação computacional. Os modelos tiveram como caso representativo uma edificação multifamiliar em formato H e foi modelado no Revit (AUTODESK, 2021a) para ser simulado em um *software* de análise energética, sendo possível obter um desempenho satisfatório em quase todos os parâmetros, com exceção da redução da carga térmica no nível superior.

Após discussão, ficou evidente que o principal entrave na implementação do BIM em uma simulação energética, está relacionado à confiabilidade da transferência plena de dados, deixando incertezas sobre procedimentos de entrada dos parâmetros e a interpretação correta durante a análise.

No entanto, seus benefícios prevalecem sobre os pontos negativos, especialmente quando abordado métodos tradicionais, justificado pela redução de esforços ao longo do fluxo da atividade, reduzindo tempo de conexão entre modelos, além de diminuir chances de retrabalho. Tal que é possível armazenar parâmetros já inseridos previamente, não sendo necessário repetição e após isso, retroalimentado o banco de dados de acordo com os objetivos finais, deixando as informações disponíveis.

Por fim, essa pesquisa deixa como sugestão de trabalhos futuros: desenvolver alternativas robustas para melhorar a transcrição de informações, pois isso demonstra ser a principal barreira para a implementação do BIM. Como exemplo da ferramenta IDEEA proposta por Oliveira, Bittencourt e Dória, (2020) para simulações energéticas, ou o metamodelo para previsões de cargas, desenvolvido por Bracht, Melo e Lamberts (2021), no entanto, são soluções limitadas a fases iniciais.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL (ABDI). **Processo de Projeto BIM**: Coletânea Guias ABDI-MDIC. Vol. 1, Brasília, DF: ABDI, p. 82, 2017.
- ALMEIDA, V. G. de. **A utilização da tecnologia BIM para análise de desempenho térmico de edificações habitacionais**. 2019. 131 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia) - Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019. doi:10.11606/D.102.2020.tde-30012020-121137. Acesso em: 25 out. 2021
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15220 Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações**. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15575 Edificações Habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais** Prefácio. Rio de Janeiro, 2021.
- AUTODESK. **Revit**. Licença educacional, versão 21.0.0.383. [s. l.]: Autodesk, 2021a. Disponível em: <https://www.autodesk.com.br/products/revit/overview>. Acesso em: 05 abr. 2021.
- AUTODESK. **Revit Suporte e Aprendizado**. [s. l.]: Autodesk, 2021b. Disponível em <https://help.autodesk.com/view/RVT/2021/PTB/>. Acesso em: 26 de out. de 2021.
- BRACHT, MK; MELO, AP; LAMBERTS, R. A metamodel for building information modeling-building energy modeling integration in early design stage. **Automation in Construction**, Vol. 121, [s. l.], 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103422>. Acesso em: 21 set. 2021.
- CAIXA. Cadernos técnicos de composições representativas. **Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI)**, Ed. 9, p. 110, 2017. Disponível em: <https://www.caixa.gov.br/site/paginas/downloads.aspx>. Acesso em: 13 out. 2021.
- EASTMAN, C; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **Manual de BIM**: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores. Bookman Editora, 2014.
- ELNABAWI, M. H. Building Information Modeling-Based Building Energy Modeling: Investigation of Interoperability and Simulation Results. **Front. Built Environ.**, Vol. 6, [s. l.], p. 193, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fbuil.2020.573971>. Acesso em: 18 abr. 2021.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanco Energético Nacional 2021**: Ano base 2020. Ministério das Minas e Energia (MME). Rio de Janeiro, p. 292, 2021.
- GASPAR, João Alberto M. **O significado atribuído a BIM ao longo do tempo**. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Campinas, SP. p.238, 2019.
- INTEGRATED ENVIRONMENTAL SOLUTIONS (IES). **IES Virtual Environment**. Versão 21.2. [s. l.]: IES, 2021. Disponível em: <https://www.iesve.com/software/virtual-environment>. Acesso em: 21 de out. de 2021.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Energy Efficiency 2020**. Paris, França, 2020. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2020>. Acesso em: 18 abr. 2021.
- LEISERIN, J. **Comparing Pomes and Naranjas**. 2002. Disponível em: <http://www.laiserin.com/features/issue15/feature01.php>. Acesso em: 08 jun. 2021.
- OLIVEIRA, F. M.; BITTENCOURT, L. S.; DÓRIA, D. R. S. Uma ferramenta BIM para simulação de eficiência energética nas fases iniciais de projeto. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, Vol. 11, p. 298, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.20396/parc.v11i0.8653782>. Acesso em: 19 abr. 2021.
- SOUZA, Larissa P. **Avaliação do potencial de inserção de simulações termo energéticas em fases iniciais de projeto**: proposta de método de ensino e estudo de caso. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Florianópolis. p. 161, 2020.

SUCCAR, B., Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. **Automation in Construction**, Vol. 18, Ed. 3, p. 357-375, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.10.003>. Acesso em: 09 jun. 2021.