ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

Cálculo de carga térmica: comparação entre simulação computacional no *EnergyPlus* e método analítico

Heat Load Calculation: Comparison between Computational Simulation in EnergyPlus and Analytical Method

Filipe Menezes de Vasconcelos
Universidade Federal do Pará | Belém | Brasil | filipe.vasconcelos01@gmail.com
Sergio Murillo de Almeida Souza
Universidade Federal do Pará | Belém | Brasil | sergio.almeida.souza@itec.ufpa.br
Bernardo Contente Pereira
Universidade Federal do Pará | Belém | Brasil | bernardo.contentep@gmail.com
Maria Emília de Lima Tostes
Universidade Federal do Pará | Belém | Brasil | tostes@ufpa.br
Carminda Célia Moura de Moura Carvalho
Universidade Federal do Pará | Belém | Brasil | carminda@ufpa.br
Bianca Beatriz Silva Corrêa
Universidade Federal do Pará | Belém | Brasil | bianca-correa@hotmail.com

Resumo

O cálculo de carga térmica de forma correta é importante para dimensionar adequadamente a climatização de ambientes. Há diversas formas de realizar este cálculo para um espaço, entre elas, a forma analítica, através das instruções disponibilizadas pelas NBRs e a utilização de simulação computacional, por meio de softwares como o EnergyPlus, o qual entrega seus resultados em carga térmica. Este trabalho tem como objetivo realizar uma comparação de resultados entre as formas analítica e por simulação computacional deste cálculo, utilizando-se de uma edificação modelo hipotética, localizada em Belém do Pará, Brasil. Como principais resultados, comparando a carga térmica obtida dos três ambientes da edificação, pode-se perceber que os valores de carga térmica finais são similares, apresentando diferença percentual entre 6 e 15%, enquanto cálculos de fluxo de calor entre os dois métodos não são comparáveis. Conclui-se que, para ambientes pouco complexos, o método escolhido não influencia significativamente na escolha de soluções de climatização.

Palavras-chave: Carga térmica. Climatização. Dimensionamento. EnergyPlus. Simulação termo-energética.

Como citar:
VASCONCELOS, F. M. et al. Cálculo de carga térmica: comparação entre simulação computacional no EnergyPlus e método analítico. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

Abstract

Correctly calculating the thermal load is important for properly sizing room air conditioning. There are several ways to perform this calculation for a space, including the analytical way, using the instructions provided by the NBRs, and the use of computer simulation, using software such as EnergyPlus, which delivers its results in thermal load. The aim of this study is to compare the results of this calculation between the analytical and computer simulation methods, using a hypothetical model building located in Belém do Pará, Brazil. As the main results, comparing the thermal load obtained for the three rooms of the building, it can be seen that the final thermal load values are similar, with a percentage difference of between 6 and 15%, while heat flow calculations between the two methods are not comparable. It can be concluded that, for less complex environments, the method chosen does not significantly influence the choice of air conditioning solutions.

Keywords: Heat load. Climate control. Load calculation. EnergyPlus. Thermal energy simulation.

INTRODUÇÃO

A carga térmica representa a quantidade de energia térmica que deve ser fornecida ou removida de um ambiente para atingir manter condições esperadas, como a de conforto, incluindo temperatura e umidade relativa, em níveis constantes. A precisão dos cálculos de carga térmica é de suma importância no contexto do projeto, uma vez que esse dado, obtido corretamente, constitui a base para alcançar um equilíbrio ideal entre a eficiência energética, valor de infraestrutura e o objetivo final, proporcionando um ambiente confortável que fomenta a produtividade e a saúde dos ocupantes.

Ao longo deste estudo, foram utilizados dois métodos para obtenção de resultados de carga térmica. O primeiro é o de simulação termo-energética, feito pelo EnergyPlus, que é um software de licença gratuita utilizado para simular o consumo de energia e as trocas térmicas em edificações. A aplicação validada pela [1], permite analisar diversos sistemas da edificação, como: Climatização, iluminação e ventilação natural, retornando os resultados em arquivos CSV [2], com nível de detalhe elevado e com dados para todos os dias e horas especificados durante o processo de modelagem e simulação da edificação. Para obter esses resultados, é necessário conhecimento técnico e familiaridade com alguns softwares, tais como: SketchUp e os plug-ins do OpenStudio e EnergyPlus.

De outro modo, a segunda forma de cálculo abordado neste trabalho foi o método de [3], baseado nas normas brasileiras vigentes [4]. Este por sua vez, também necessita de conhecimento técnico, porém é relativamente mais simples de aplicar.

O objetivo deste estudo, portanto, é realizar a comparação entre esses dois métodos utilizando uma edificação modelo hipotética, com tipologia de escritório, situada em Belém do Pará, a fim de identificar as principais diferenças nos resultados e se algum método é mais vantajoso para edificações similares ao escritório analisado.

MÉTODO

A metodologia deste trabalho está dividida em três subseções, sendo: Caracterização do objeto de estudo, método analítico e método de simulação computacional.

CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

É necessário conhecer as características principais da construção que são utilizadas para a pesquisa. O objeto de estudo deste artigo é uma edificação comercial com tipologia de escritório, situada na cidade de Belém do Pará, Brasil. É válido ressaltar que Belém está localizada na Zona Bioclimática 8, conforme estabelecido pelas diretrizes normativas que regem o desempenho térmico de edifícios [5]. Além disso, a análise térmica da região se baseia em dados climáticos fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) [6], os quais indicam uma temperatura máxima anual de 34°C. Portanto, este foi o valor considerado para o cálculo dos piores casos, que servem para garantir que a solução para esse ambiente atenderia às necessidades para todos os períodos do ano, considerando que a temperatura de conforto é de 24°C [3].

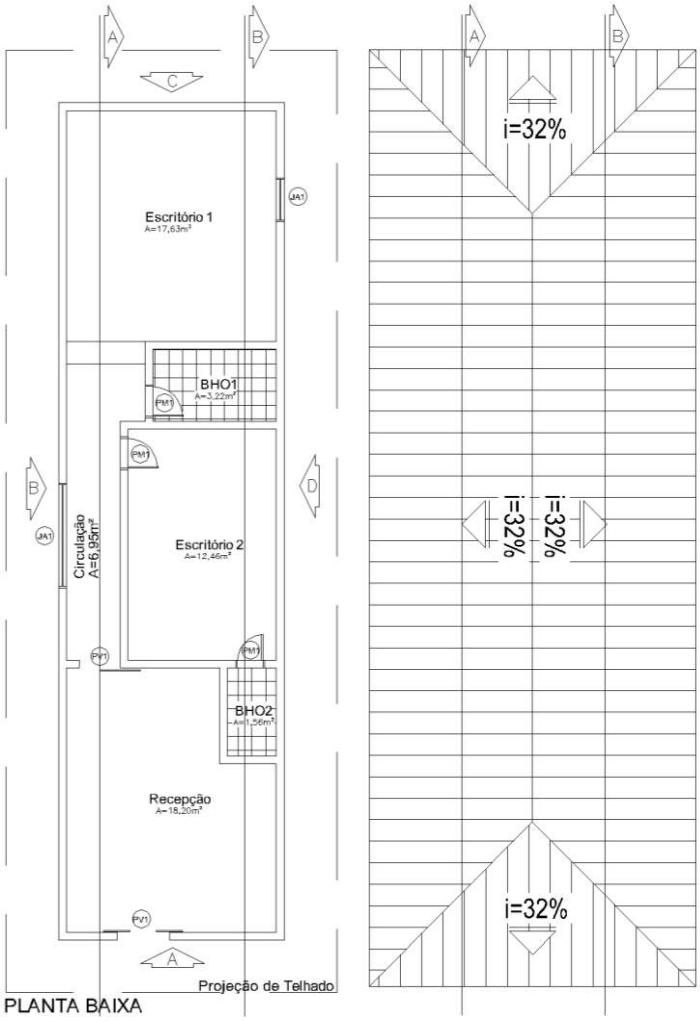
O prédio, apresentado nas figuras 1 e 2, conta com três ambientes, sendo uma recepção e dois escritórios, além de dois banheiros e um corredor. Na tabela 1 são especificadas as áreas dos ambientes que são analisados, bem como as áreas envidraçadas de cada um, fatores que interferem diretamente na carga térmica de um ambiente. A circulação principal e o escritório 1 estão conectados, significando uma somatória de seus equipamentos elétricos e de iluminação para compor a carga térmica do ambiente.

Tabela 1: Áreas dos ambientes da edificação em m²

Ambientes	Área em m²	Área envidraçada em m²
Recepção	18,20	2,10
Escritório 1 e Circulação	24,59	2,80
Escritório 2	12,47	-

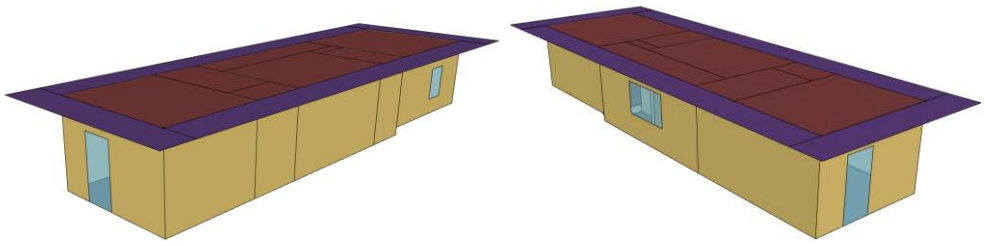
Fonte: o autor.

Figura 1. Planta baixa com os ambientes e a cobertura da edificação



Fonte: o autor.

Figura 2. Diferentes vistas do modelo da edificação no SketchUp 2020



Fonte: o autor.

Para a edificação modelo foram estabelecidos alguns parâmetros fixos para melhor comparação entre os resultados dos cálculos. São eles: número de pessoas que ocupam os ambientes, o número de equipamentos, o número de lâmpadas que compõem o sistema de iluminação artificial, estabelecido através de projeto luminotécnico, e o número de trocas de ar por hora, referente à infiltração, como mostra a tabela 2.

Tabela 2: Parâmetros fixos para o cálculo de carga térmica da edificação

Parâmetros fixos	Circulação	Recepção	Escritório 1	Escritório 2
Qtd. de pessoas	0	2	2	2
Qtd. de trocas de ar (por hora)	1	1	1	1
Potência de equipamentos elétricos (W)	0	290	290	290
Potência de lâmpadas (W)	180	288	252	324

Fonte: o autor.

Quanto aos equipamentos elétricos, é válido ressaltar que se trata de dois computadores para cada ambiente, sendo, portanto, dois monitores e duas unidades centrais de processamento (CPU).

A partir desta breve apresentação da edificação modelo utilizada para este estudo, é possível partir para os métodos de cálculo escolhidos.

MÉTODO ANALÍTICO

Uma das formas de realizar o cálculo de carga térmica de um determinado ambiente é por meio da forma analítica. Para realizar a comparação entre as duas formas de cálculo, foram utilizados os algoritmos de cálculo do EnergyPlus para balanço térmico e cargas e o método de cálculo de carga térmica de [3]. O autor explicita que a carga térmica a ser retirada ou adicionada no ambiente se deve a diferentes parcelas de transferência de calor no recinto referentes à condução, insolação, ocupação e atividade, equipamentos, infiltração de ar, ventilação e dutos. Aliados a estes fatores, é importante destacar os dados do projeto, bem como: condições de conforto, requisitos para o conforto ambiental e tipologia da edificação. A partir destes, é possível obter e entender as condições de temperatura, umidade, propriedades dos componentes construtivos e o tipo de utilização da edificação.

Dessa forma, conhecendo a tipologia da edificação e mantidos como fixos os parâmetros de ocupação e atividade, equipamentos elétricos, infiltração de ar e iluminação artificial (Tabela 2), a fim de obter o resultado do método analítico restam os dados a respeito dos componentes construtivos da edificação. Os valores encontrados, para a estrutura do telhado, paredes, janelas e portas de vidro são exibidos na Tabela 3 e foram encontrados através da [7] e de [3].

Tabela 3: Transmitância térmica (U)

Coeficiente Global de Transmissão de Calor	Paredes	Telhado	Vidro comum
U $[W/m^2 \cdot K]$	2,46	2,12	5,69

Fonte: o autor.

Além desses valores, outro dado importante para o método é o Coeficiente de Transmissão do Calor Solar Através de Vidros, em W/m^2, aproximado para a Latitude de Belém, que seria equivalente aos seguintes valores para cada orientação geográfica: Norte = 258,67; Leste = 44,16; Oeste = 258,67; e Sul = 44,16 [5].

De posse dessas informações e considerando as condições climáticas da cidade de Belém, onde está situado o objeto de estudo, pode-se chegar aos valores de carga térmica para cada ambiente da construção. É importante salientar que, de acordo com [3], é uma boa prática utilizar um fator de segurança de 10% ao final do cálculo, a fim de diminuir as chances de que fatores como: inconsistência de dados, dificuldades no levantamento de informações, erro humano, entre outros, prejudiquem a tentativa de alcançar o conforto térmico por meio de soluções de climatização.

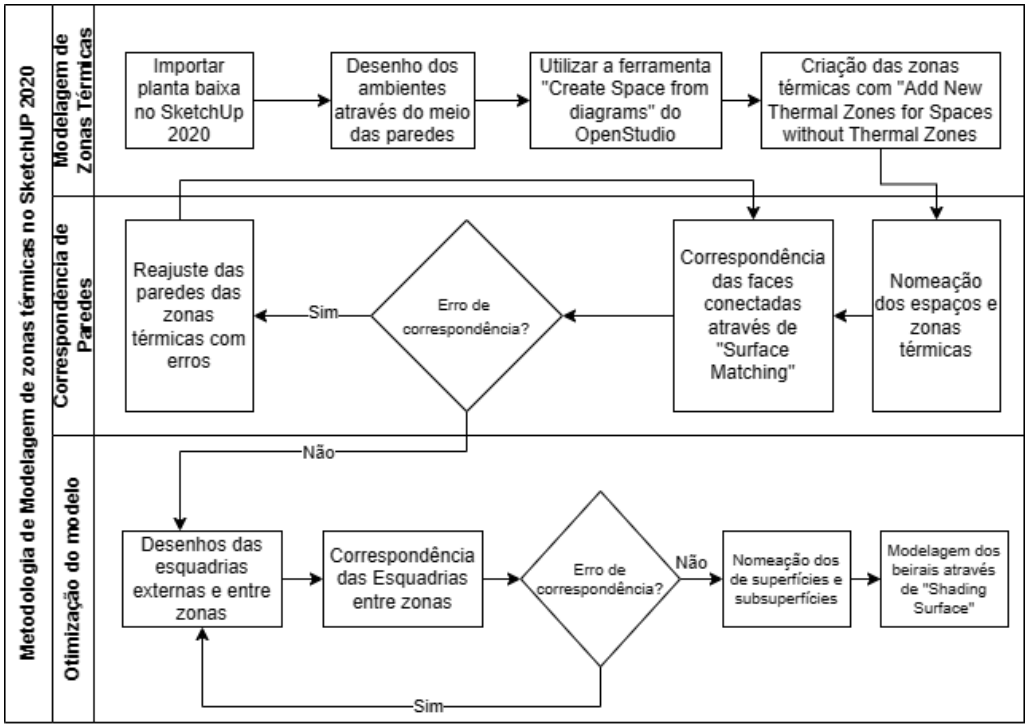
MÉTODO DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Para o método de simulação computacional, foi necessário a utilização de um programa capaz de replicar as características de carga térmica. A capacidade de modelar equipamentos elétricos, infiltração de ar, iluminação artificial, ocupação e suas atividades, assim como os materiais integrantes das paredes internas e temperaturas necessárias para o cálculo é suprida pelo EnergyPlus, que possui capacidades técnicas satisfatórias para uma série de normativas nacionais, como a Instrução Normativa do Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C) e a NBR 15.575-2021 [8, 9], além de ter sido utilizado, nacionalmente, para fazer cálculos de carga térmica [10] e transferência de calor entre superfícies [11].

Para que o trabalho pudesse ser desenvolvido, foi necessária uma conexão entre o programa e uma outra ferramenta de desenho. Essas ferramentas são SketchUp, versão 2020 Pro.

Na primeira etapa, utilizou-se o SketchUp para desenvolvimento das zonas térmicas. O procedimento de modelagem pode ser observado a seguir na figura 3.

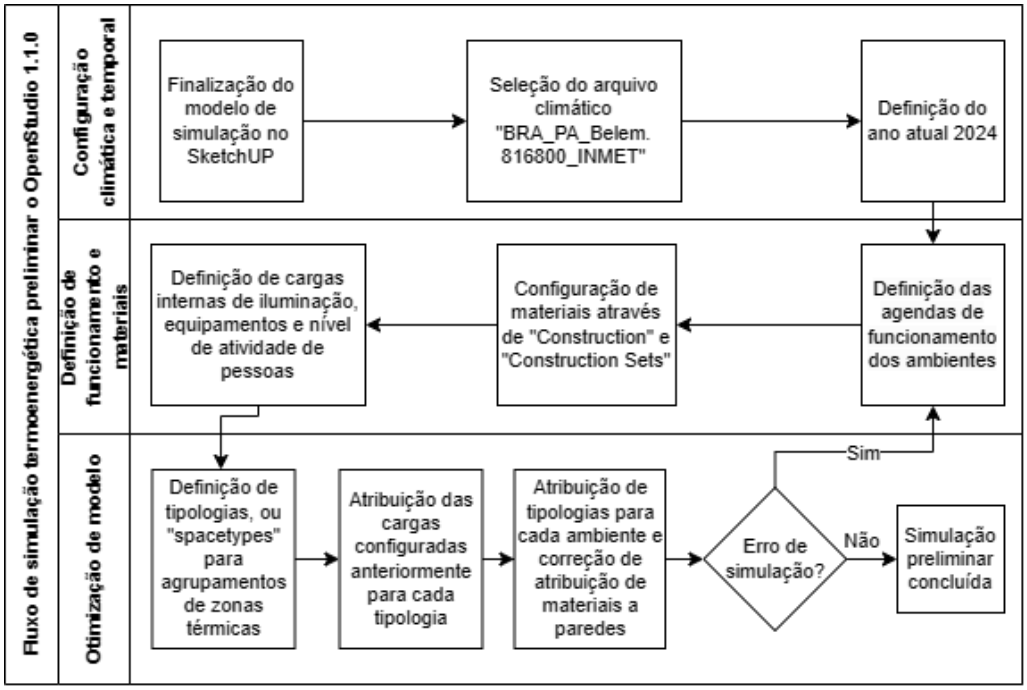
Figura 3. Processo de modelagem de zonas térmicas no SketchUp 2020



Fonte: o autor.

Após a conclusão da modelagem simplificada do SketchUp, é possível atribuir dados às zonas térmicas. O processo pode ser observado na figura 4. Uma listagem da carga interna adotada pode ser vista na tabela 4, assim como os materiais utilizados na edificação, presentes na tabela 5. O arquivo climático (BRA_PA_Belem.816800_INMET) disponibilizado pela instrução normativa do Inmetro (INI) é utilizado [8].

Figura 4. Processo de simulação termoenergética preliminar no OpenStudio 1.1.0 de zonas térmicas no SketchUp 2020



Fonte: o autor.

Tabela 4. Cargas internas presentes nos ambientes.

Tipologias	Circulação	Recepção	Escritório 1	Escritório 2
Potência de Iluminação(W)	180	288	252	324
Potência de Equipamentos (W)	0	290	290	290
Troca de ar/hora	1	1	1	1
Quantidade de Pessoas	0	2	2	2
Nível de atividade (W)	207	115	115	115

Fonte: o autor.

Tabela 5. Materiais utilizados na simulação termoenergética preliminar.

Material construtivo	Espessura (cm)	Transmitância Térmica (U) (W/m².K)	Referência
Telhado de fibrocimento 8mm de espessura sobre câmara de ar >5cm e forro de gesso 3cm	50	2,12	ProjetEEE
Argamassa interna e externa de 3cm em tijolo de cerâmica 9x14x24 com 6 furos	15	2,46	ProjetEEE

Janela com fechamento de vidro transparente simples 6mm	0,6	5,69	Lamberts, Dutra e Pereira (2014)
Porta com fechamento de vidro transparente simples 6mm	0,6	5,69	Lamberts, Dutra e Pereira (2014)
Piso cerâmico de 1cm sobre contrapiso de concreto 2cm e laje de concreto maciça de 10cm	13	3,23	ProjetEEE

Fonte: o autor.

Concluída a simulação das cargas e zonas térmicas no OpenStudio, outros sistemas podem ser adicionados dentro do EnergyPlus, incluindo os relatórios finais de Carga térmica total anual (CgTT). Nesta etapa, são incluídos as configurações de solo, termostato e um sistema ideal de cargas (*Ideal Loads*) para as zonas estudadas.

A configuração de solo é regida pelo método de cálculo de diferenças finitas (Finite Difference). O programa permite a utilização de um modelo de transferência de calor de diferenças finitas utilizando o arquivo climático específico do projeto [12]

Após atribuir o modelo de solo às faces em contato com o solo, é possível iniciar a configuração do sistema *Ideal Loads*. Este, configurável pelo EnergyPlus, representa um sistema onde todas as demandas de carga são supridas sem o consumo de energia, equivalente ao cálculo de carga térmica do método analítico [13].

Dada a configuração correta dos sistemas anteriores e ausência de erros, a simulação termoenergética final pode ser concluída e a carga térmica coletada. É importante ressaltar que foram utilizados os valores da hora e dia mais quentes do ano simulado, que neste caso, foi dia 14 de março, às 15:00 horas. Ao fim, seguindo as recomendações de [3], foi adicionado um fator de segurança de 10% aos resultados de carga térmica simulados, presentes no capítulo posterior. Ao fim, são extraídos os dados necessários para obter o fluxo de calor para condução, insolação e aberturas transparentes, dados por [14, 3] a seguir:

$$Qcondução = U \times A \times (Text - Tint) \ (W) \quad (1)$$

Onde Qcondução é o fluxo de calor de condução, U é a transmitância da superfície, Text é a temperatura externa e Tint é a temperatura interna, configurada em 24 °C.

$$Qinsolação = U \times A \times (Tsol + Text - Tint) \ (W) \quad (2)$$

Onde Qinsolação é o fluxo de calor de paredes com insolação, U é a transmitância da superfície, Text é a temperatura externa e Tint é a temperatura interna, configurada em 24 °C.

$$Qabertura = Uvid \times Avid \times (Text - Tint) + Fs \times I \ (W) \quad (3)$$

Onde Qabertura é o fluxo de calor de fechamentos transparentes, Uvid é a transmitância do vidro, Text é a temperatura externa, Tint é a temperatura interna, configurada em 24 °C, Fs é o fator solar do vidro e I é a taxa de radiação solar incidente sobre o vidro, em W/m².

As variáveis extraídas para esses cálculos estão no Quadro 1.

Quadro 1: Variáveis extraídas da simulação para cálculo de fluxo de calor e ganhos de calor por cargas internas.

Input	Descrição	Valor	Variável
Site Outdoor Air Drybulb Temperature	Temperatura de Bulbo Seco, em °C	34,075	Text
Zone Ideal Loads Zone Total Cooling Rate	Carga Térmica Total, em W	Recepção: 4212,11 Escritório 1: 3732,08 Escritório 2: 2958,04 Circulação:1868,90	CgTT
Zone Electric Equipment Total Heating Rate	Energia térmica de aquecimento dos equipamentos elétricos da zona, em W	Recepção: 290 Escritório 1:290 Escritório 2:290	Qequipamentos
Zone Lights Total Heating Rate	Energia térmica de aquecimento da iluminação artificial, em W	Recepção: 288 Escritório 1: 252 Escritório 2: 324	Qi
Zone Infiltration Total Heat Gain Energy	Ganho de energia térmica total da infiltração de ar da zona, em J	Recepção: 1904246.68 Escritório 1: 1650782.39 Escritório 2: 1311276.61 Circulação: 783625.58	Qinfiltração
Zone People Total Heating Rate	Energia térmica de aquecimento das pessoas na zona, em W	Recepção: 230 Escritório 1: 230 Escritório 2: 230	Qpessoas
Zone Mean Air Temperature	Temperatura média interna da zona térmica, em °C	Circulação: 34,09 BHO1: 32,53 BHO2: 32,13	Text (somente em casos onde paredes internas fazem divisa com ambientes não refrigerados)
GroundDomain Slab Zone Coupled Surface Temperature	Temperatura média do piso da edificação, em °C	Recepção: 29,36 Escritório 1: 29,36 Escritório 2: 29,36	Text (somente para pisos)
Surface Outside Face Incident Solar Radiation Rate per Area	Taxa de radiação solar incidente por área de superfície externa, em W/m²	Recepção: 97,32 Escritório 1: 98,53 Circulação: 173,07	I

Fonte: o autor

RESULTADOS

Para o método analítico, foram calculados todos os valores referentes às parcelas de transferência de calor que corroboram o aumento da carga térmica nos ambientes do prédio estudado, como mostra a tabela 6, em W.

Tabela 6: Carga térmica total [W] para os ambientes da edificação pelo método analítico

Parcelas de Calor	Recepção	Escritório 1 + Circulação	Escritório 2
Condução	1611,21	2138,85	891,7
Insolação	1952,04	3325,82	971,42
Ocupação e Atividade	229,77	229,77	229,77
Equipamentos	289,71	289,71	289,71
Infiltração de Ar	176,12	213,05	120,71
Iluminação Artificial	288,25	432,37	324,28
Total	4547,1 W	6629,58 W	2827,59 W
Total + Fator de Segurança (10%)	5001,81 W	7292,53 W	3110,35 W

Fonte: o autor.

A partir desses dados, é possível converter os valores para BTU/h. A Tabela 7 já apresenta esses valores convertidos para a recepção e os dois escritórios da edificação.

Tabela 7: Carga térmica total [BTU/h] para os ambientes da edificação pelo método analítico

Carga Térmica em BTU/h	Recepção	Escritório 1	Escritório 2
Total	17066,88 BTU/h	24883,15 BTU/h	10612,95 BTU/h

Fonte: o autor.

Em contrapartida, após todo o processo descrito anteriormente na metodologia para realizar a simulação termo-energética, por meio do EnergyPlus, chegou-se aos seguintes resultados de carga térmica expostos na Tabela 8. Convertidos (Tabela 9).

Tabela 8: Carga térmica total [W] para os ambientes da edificação pelo método simulado

Parcelas de Calor	Recepção	Circulação	Escritório 1	Escritório 2
Condução	1911,99	900,98	1694,73	1358,45
Insolação	2212,55	1170,39	2469,02	1776,13
Ocupação e Atividade	230	0	230	230
Equipamentos	290	0	290	290
Infiltração de Ar*	530,21	217,67	460,96	530,21
Iluminação Artificial	288	180	252	324
Carga Térmica Total	4263,52 W	1868,90 W	3837,95 W	3023,37 W
Total + Fator de Segurança (10%)	4689,87 W	2055,79 W	4221,75 W	3325,71 W

*valores em J transformados para Watts-hora

Fonte: O autor

Convertendo os dados em W, obteve-se os seguintes valores, em BTU/h, da Tabela 9:

Tabela 9: Carga térmica total [BTU/h] para os ambientes da edificação pelo EnergyPlus

Carga Térmica em BTU/h	Recepção	Escritório 1 + Circulação	Escritório 2sd
Total	16002,50	21419,86	11347,79

Fonte: o autor.

Assim, pode-se comparar os resultados dos métodos, considerando suas diferenças, presente na tabela 10 a seguir:

Tabela 10: Comparativo entre os resultados dos métodos analítico e de simulação.

	Recepção (BTU/h)	Escritório 1 + Circulação (BTU/h)	Escritório 2 (BTU/h)
Creder + 10% fator de segurança (FS)	17066,88	24883,15	10612,95
EnergyPlus + 10% FS	16002,50	21419,86	11347,79
Creder + (FS) comparado com EnergyPlus + (FS)	6,24%	14,60%	- 6,92%

Fonte: O autor

Quadro 2: Comparativo de cálculos dos métodos analíticos e de simulação.

Comparativos de cálculo	Analitico (W)	Simulação (W)	Diferença (%)
Recepção - Condução	1611,21	1911,99	-19%
Recepção - Insolação	1952,04	2212,55	-13%
Recepção - Ocupação e Atividade	229,77	230	0%
Recepção - Equipamentos	289,71	290	0%
Recepção - Infiltração de Ar	176,12	530,21	-201%
Recepção - Iluminação Artificial	288,25	288	0%
Escritório 2 - Condução	891,7	1358,45	-52%
Escritório 2- Insolação	971,42	1776,13	-83%
Escritório 2- Ocupação e Atividade	229,77	230	0%
Escritório 2- Equipamentos	289,71	290	0%
Escritório 2- Infiltração de Ar	120,71	530,21	-339%
Escritório 2 - Iluminação Artificial	324,28	324	0%
Escritório 1 - Condução	2138,85	1694,73	21%
Escritório 1 + Circulação- Insolação	3325,82	2469,02	26%
Escritório 1 + Circulação- Ocupação e Atividade	229,77	230	0%
Escritório 1 + Circulação- Equipamentos	289,71	290	0%
Escritório 1 + Circulação- Infiltração de Ar	213,05	460,96	-116%
Escritório 1 + Circulação - Iluminação Artificial	432,37	432	0%

Fonte: o autor.

Ao compará-los, é importante destacar que há uma simplificação de cenários no resultado, uma vez que o método analítico é calculado apenas utilizando os dias de maiores temperaturas ao longo do ano (34°C) [6], além da consideração de que não há trocas de calor por condução entre os recintos que tem como objetivo a mesma temperatura de conforto (24°C) [3].

Por outro lado, o EnergyPlus consegue refinar os dados para uma análise minuciosa, detalhando hora a hora os valores referentes aos ambientes simulados, sendo possível avaliar as necessidades de cada caso, o que indica e garante maior precisão e número de dados com a simulação.

Para efeitos de análise, os valores apresentados acima mostram que o método analítico entrega um valor de carga térmica maior que o valor mais alto resultante da simulação em 2 dos 3 casos analisados. Em ambos os casos em que a carga térmica

analítica foi superior, existem fechamentos de vidro nas zonas, assim como uma parcela maior de área de superfícies externas.

Também pode ser percebido grande similaridade nas cargas internas provenientes de equipamentos, pessoas e iluminação. No entanto, valores de *Qinsolação, Qcondução* e *Qinfiltração* são muito diferentes e não podem ser comparados.

CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi comparar o método analítico de cálculo de carga térmica, fornecido por [3] e o método de simulação através do EnergyPlus. Pode-se concluir, que, ao comparar o método analítico de cálculo, seguindo as normas brasileiras, e a simulação termo-energética no EnergyPlus, o último possui um método de cálculo bastante diferente do analítico, contudo, entrega resultados similares de carga térmica, tendendo a ser menores em ambientes com maior exposição ao sol. Para ambientes com menor exposição ao sol, os resultados de simulação foram maiores que os analíticos. As principais diferenças estão presentes nos cálculos de insolação, condução e infiltração. Em todos os casos, a infiltração simulada é significativamente maior. Insolação e condução variam bastante, significando que resultados são inconclusivos, impossibilitando calcular carga térmica utilizando as variáveis de simulação extraídas neste trabalho.

Apesar do maior refino do processo e da quantidade de dados gerados pela simulação computacional, para fins de praticidade e dependendo do objetivo final da obtenção dos resultados de carga térmica.

REFERÊNCIAS

[1] ANSI/ASHRAE. **Standard 140-2004**: Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs. Atlanta,2004

[2] VEIGA, C. **Análise do desempenho térmico de uma residência unifamiliar por meio de simulação computacional.** 1. ed. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2023.

[3] CREDER, H. **Instalações de ar-condicionado**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.

[4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401**: Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários. Rio de Janeiro, 2008.

[5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: Desempenho Térmico de Edificações. Rio de Janeiro, 2003.

[6] PBE-EDIFICA. **Arquivos climáticos INMET 2018 | PBE EDIFICA**. Disponível em: <https://pbeedifica.com.br/arquivos-climaticos/inmet2018>. Acesso em: 30 maio. 2024.

[7] WEBER, F.; MELO, A; MARINOSKI, D.; GUTHS, S.; LAMBERTS, R. **Desenvolvimento de um modelo equivalente de avaliação de propriedades térmicas para a elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no programa *EnergyPlus***. 1. ed. Florianópolis: LabEEE, 2017.

[8] BRASIL. Portaria Inmetro n° 309, 22 de dezembro de 2022. Anexo 1 - Instrução Normativa do Inmetro para Edificações Comerciais, de Serviço e Públicas.Brasília: **Diário Oficial da União.** 2022.

[9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edificações habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro, 2021.

[10] SANTOS, G. A. DOS et al. **Simulação de carga térmica e otimização de sistema de ar-condicionado utilizando a integração EnergyPlusTM / MATLAB®**. The Journal of Engineering and Exact Sciences, v. 9, n. 2, p. 15337– 01e, 13 mar. 2023.

[11] RESENDE, B. C.; SOUZA, H. A. DE; GOMES, A. P. **Modelagem da transferência de calor de ambientes subterrâneos no programa de simulação EnergyPlus**. Ambiente Construído, v. 19, n. 1, p. 161–180, mar. 2019.

[12] US DEPARTMENT OF ENERGY. **Input Output Reference: EnergyPlus Version 9.4.0 Documentation**. 2020.

[13] SOUSA, F. P. DE; SILVA, A. S. **Manual de Introdução à simulação do desempenho de edifícios: um curso para iniciantes no software EnergyPlus**. Campo Grande: 2021.

[14] LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3a ed. São Paulo: PW, 2014. v. 1