AVALIAÇÃO SIMPLIFICADA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA ENVOLTÓRIA EM EDIFÍCIOS NATURALMENTE VENTILADOS: COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS

Luisa Fiorot Dell' Santo (1); Roberta Vieira Gonçalves de Souza (2)
(1) Graduanda, Arquitetura e Urbanismo, luisafiorotds@gmail.com;
(2) Doutora, Arquiteta, robertavgs@ufmg.br; Departamento de Tecnologia do Design, da Arquitetura e do Urbanismo, UFMG

RESUMO

O objetivo deste artigo é apresentar uma avaliação de eficiência energética pela Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais de Serviços e Públicas (INI-C), relativa à envoltória ventilada naturalmente de uma edificação de ensino superior usando os metamodelos para análise simplificada disponibilizados por Rackes et al e pela plataforma *web* disponibilizada pelo PBE Edifica para posterior cálculo de eficiência energética da envoltória. A metodologia do trabalho envolveu o levantamento de dados da edificação através das plantas, dos cortes e dos memoriais descritivos para obter as informações relativas às suas características físico-estruturais, e dos testes em duas ferramentas de cálculo, disponibilizadas pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), a fim de comparar os resultados gerados por cada uma delas. Vale pontuar que, para a viabilização da análise pelo método simplificado, foi necessária a adaptação de uma série de parâmetros da edificação real, como o seu formato e as horas de uso, tanto no cálculo inicial da contribuição da ventilação natural quanto no cálculo da carga térmica de refrigeração anual (CGTR). Foram realizados testes a partir de cada valor percentual obtido, seja pela Interface *Web* ou *Python*, para a obtenção da classificação final da envoltória. Tratando-se da porcentagem de horas em desconforto térmico (FHdesc), obteve-se uma variação de até 70,8% entre os valores obtidos na versão da ferramenta *Natural Comfort* que roda em *Python* 2.7, em comparação à sua versão da Interface *Web*. No entanto, considerando a contribuição da ventilação natural, todos os três blocos analisados atingiram o nível de eficiência A.

Palavras-chave: ventilação natural, eficiência energética em edificações, INI-C, envoltória, metamodelos.

ABSTRACT

This article aims to present the evaluation of energy efficiency, relative to the envelope, of a higher education building and, at the same time, to disclose, the obstacles found on applicating INI-C and on the interactions with the metamodels. The work's methodology involved the collection of the building's data, by searching its architectural plans, sections, and memorials, in order to obtain information related to its physical-structural characteristics. Furthermore, by analyzing the INI-C and the tests made on different calculations tools, made available by the Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), it was possible to compare the results generated by each one. It is worth pointing out that, in order to make the analysis possible by applying the simplified method, it was necessary to adapt a series of the real edification parameters, such as its dimensions and its hours of use – both in the initial calculation of the contribution of natural ventilation and in the calculus of the to the calculus of the annual conduction thermal load. Tests were carried out from each percentage value obtained, either by the Web Interface or Python, to obtain the final classification of the envelope. On the topic of the percentage of hours in thermal discomfort (EHFhot), the study obtained a 70,8% variation between the Natural Comfort's Pyhton 2.7 version, in comparison to its Web Interface version. Nevrtheless, considering the contribution of natural ventilation, the three analyzed building blocks reached an A level of energy efficiency.

Keywords: natural ventilation, energy efficiency in buildings, INI-C, envelope, metamodels.

1. INTRODUÇÃO

As crescentes discussões sobre as mudanças climáticas e as estratégias de combate aos seus efeitos repercutem, também, no setor da construção civil. Assim, andam juntas as técnicas de melhoria do conforto ambiental das edificações, de economia de energia e, claro, das avaliações de eficiência energética, tanto para as edificações comerciais quanto para as edificações residenciais.

Como um meio de fomentar o uso racional e a conservação da energia elétrica, vigoram desde 2009, no cenário brasileiro, regulamentos que visam apresentar métodos para a avaliação de edifícios com o foco na emissão de etiquetas nacionais de eficiência energética, as ENCE. Tais regulamentos foram divididos em dois tipos: Requisitos Técnicos para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) e para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, Públicos e de Serviço (RTQ-C). Tal iniciativa fez-se imprescindível, trazendo atenção às temáticas relativas à eficiência dos sistemas e dos equipamentos adotados pelos projetos e sua influência no uso final de energia elétrica da edificação.

Em relação aos edifícios comerciais, de serviços e públicos, desde 2017, o PROCEL Edifica, em parceria com o Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E), trabalhou na formulação de uma nova norma de avaliação de eficiência energética que foi promulgada em 2021 e publicada em conjunto com a avaliação para edificações residenciais em 2022 (BRASIL, 2022). A Instrução Normativa e os Requisitos de Avaliação da Conformidade para a Eficiência Energética das Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C) buscam atualizar os métodos de cálculo, compatibilizar as normas brasileiras com as internacionais e melhorar o indicador de desempenho das edificações, tornando-o mais tangível aos consumidores e usuários, além de substituir seu antecessor, o RTQ-C (BRASIL, 2022).

Para a classificação da envoltória deste tipo de edificação, realiza-se uma comparação entre os valores de carga térmica total anual para refrigeração do edifício em estudo com a sua condição de referência, de classificação D. Além disso, é possível obter uma redução na carga térmica calculada, através da consideração do aproveitamento da ventilação natural pela determinação do Percentual de Horas Ocupadas em Conforto Térmico (PHOCt), que representa a razão entre as horas ocupadas que comprovadamente atendem aos requisitos de conforto térmico quando ventiladas naturalmente e o total de horas ocupadas da edificação. Para a avaliação de edificações que fazem uso deste recurso, os usos – áreas e padrões de ocupação – e o envelope do edifício devem ser levados em conta (cobertura, fachadas e aberturas). A avaliação da redução de carga térmica pela ventilação natural pode ser feita por um método simplificado pelo uso de um metamodelo que estima horas em desconforto térmico ou por simulação computacional, devendo ser adotado o método mais adequado de acordo com a tipologia em análise e com as restrições colocadas para o uso dos metamodelos.

A simulação computacional é uma representação simplificada da realidade. Ainda assim, é considerada a forma mais flexível e completa de avaliar questões relacionadas à eficiência energética de edificações (CARLO; LAMBERTS, 2010). Mas para obter uma simulação com resultados confiáveis, é necessário um grande investimento financeiro e de tempo, além de demandar profissionais experientes e bem capacitados (HENSEN; LAMBERTS, 2011). Em se tratando da estimativa do PHOCt, a simulação para obter os resultados é complexa devido a definições de rotinas de abertura e fechamento das portas e janelas, horários de ocupação e de uso da iluminação artificial e de equipamentos. Este tipo de simulação necessita ainda da inserção de dados construtivos da edificação com informação das propriedades termofísicas de cada material utilizado na edificação, demandando, assim, tempo e conhecimento por parte de especialistas, o que pode desencorajar a indústria de construção a avaliar o desempenho de edificações naturalmente ventiladas (MEDEIROS, 2021).

O uso de metamodelos junto à INI-C, então, se mostra como uma opção interessante e mais expedita. No caso da avaliação de conforto térmico pode-se usar um metamodelo como um método simplificado capaz de estimar o PHOCt, com a entrada de parâmetros simplificados relacionados ao clima e às características da edificação (RACKES; MELO; LAMBERTS, 2016). O metamodelo desenvolvido por Rackes, Melo e Lamberts (2016) elaborado em linguagem *Python*, na versão 2.7, no qual o usuário deve entrar com 38 parâmetros, pode ser usado ou pode-se usar uma interface *web*, que também roda este mesmo metamodelo, porém com entrada simplificada, na qual são inseridos 21 parâmetros (PBE, 2023). Para o cálculo da carga térmica, a estimativa do PHOCt deve ser obtida por meio da fração de horas excedentes por calor (FHdesc) ao longo do ano para o período de ocupação fornecida pelos metamodelos, conforme Equação 1.

$$PHOCt = 100 - FHdesc \qquad \text{Equação 1}$$

Já com relação às restrições para o uso dos metamodelos, a primeira refere-se à restrição ao seu uso apenas para edificações escolares ou de escritórios, que possuem geometria retangular ou quadrada, com

horários de ocupação preestabelecidos. A segunda refere-se a limites colocados para a entrada de dados. Os limites para a aplicação do metamodelo junto à interface web são apresentados na Tabela 1 (BRASIL, 2022).

Tabela 1 – Limites dos parâmetros de avaliação pelo método simplificado para aproveitamento da ventilação natural – interface web

Parâmetros	**Limites (unidade)**	
	Valor mínimo	**Valor máximo**
Absortância solar da cobertura (α_{cob})	0,2	0,8
Absortância solar das paredes externas (α_{par})	0,2	0,8
Ângulo vertical de sombreamento (AVS)	0°	45°
Área das APPs	9 m²	400 m²
Capacidade térmica da cobertura (CT_{cob})	10 kJ/(m².K)	400 kJ/(m².K)
Capacidade térmica da parede externa (CT_{par})	40 kJ/(m².K)	500 kJ/(m².K)
Comprimento total (maior dimensão entre os lados da edificação)	13 m	200 m
Fator da área da escada	0	0,28
Fator solar do vidro (FS)	0,2	0,8
Forma das aberturas para ventilação: razão entre a largura e a altura das aberturas para ventilação	0,1	50
Número de pavimentos	1	5
Pé-direito	2,75 m	4,25 m
Percentual de área de abertura na fachada total (PAFT)	0,05	0,7
Profundidade total (menor dimensão entre os lados da edificação)	8 m	50 m
Transmitância térmica da parede externa (U_{par})	0,1 W/(m².K)	5 W/(m².K)
Transmitância térmica da cobertura (U_{cob})	0,1 W/(m².K)	5 W/(m².K)
Transmitância térmica do vidro (U_{vid})	1 W/(m².K)	6 W/(m².K)

*Todos os parâmetros relativos às propriedades térmicas das superfícies devem ser ponderados pela sua área

Já para a entrada de dados na interface em *Pyhton*, além de haver limites relativos aos dados mínimos e máximos para variáveis do clima a ser avaliado, há ainda que se respeitar os limites para variáveis construtivas, apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Limites dos parâmetros pelo método simplificado para aproveitamento da ventilação natural – interface *Pyhton*

Média da combinação entre a dens. de pot. de ilum. e de equipamentos das salas de permanência prolongada	1 W/m²	25 W/m²
Média da combinação entre a dens. de potência de iluminação e de equipamentos das áreas de permanência transitória	1 W/m²	15 W/m²
Densidade de ocupação	0.01 ocup./m²	1 ocup./m²
Hora de início de ocupação	6 h	10 h
Hora final de ocupação	14 h	22 h
Fator de correção da velocidade do ar externa	0,10	0,40
Obstáculos do entorno	0,3	1,0
Média da fração máxima de abertura de todas as janelas	0.2	1
WWRnoite (fração de abertura da fachada das janelas destinadas à ventilação noturna)	0	0.17
Relação entre a largura e a altura das janelas primárias	0,1	50
Coeficiente de descarga das janelas primárias	0,40	0.8
Área efetiva de vazão entre os espaços ocupados e as áreas de permanência compartilhada, por comp. de parede compartilhada	0,0001	0.4
Incremento da velocidade do ar a partir de ventiladores de teto	0 m/s	0.9 m/s

Enquanto na interface em *Python* entra-se diretamente com os valores obtidos das variáveis indicadas, na interface web, cinco das variáveis apresentam valores em faixas pré-definidas. São elas AVS (0°, 15°, 30° ou 45°), fator de correção do vento (4 possibilidades - de centros urbanos a regiões expostas a ventos marítimos), obstáculos de entorno (5 níveis de obstrução do entorno), tipo de janela (basculante ou de correr) e presença ou não de ventilador. Tem-se ainda que na interface em *Python* o usuário deve inserir cada um dos nove parâmetros referentes ao arquivo climático escolhido, enquanto na interface *web* deve-se escolher uma das cidades indicadas através de um menu do tipo *pull-down*. Ne interface *web* os cinco parâmetros relacionados aos ganhos internos e os três relacionados com a ventilação também são omitidos sendo estes

predeterminados pela tipologia da edificação analisada, “Escola” ou “Escritório”, ficando a cargo do usuário apenas selecionar a tipologia na interface.

Em estudo realizado por Medeiros (2021) acerca da aplicabilidade e das limitações do método simplificado da envoltória e da avaliação do percentual de horas em desconforto térmico (PHOCt), os metamodelos se mostraram com aplicação bastante restrita em sua aplicabilidade para edificações escolares reais. Para tal o autor analisou 82 blocos de edificações universitárias dos quais apenas 16% atendia a todos os limites colocados nas tabelas 1 e 2. O autor propôs ajustes nas dimensões prediais, para que os valores atendessem aos limites aceitos pelas plataformas de cálculo. Três edificações da sua amostra tiveram o PHOCt avaliado pelo Metamodelo e por simulação computacional considerando as características reais das mesmas. Os principais ajustes se deram na não consideração da existência de pilotis, na modificação do comprimento total da edificação para atender à proporção de 1:4 entre comprimento e largura e na consideração da altura máxima permitida, com uniformização dos pés direitos. Na comparação dos resultados pelos dois métodos a diferença no PHOCt por simulação e pelo uso do metamodelo em *Python* foi de no máximo 5,7%, considerando o autor então que o novo método proporcionou uma adequada avaliação do potencial de conforto térmico pelo uso da ventilação natural nas edificações, com uma velocidade bastante superior à da simulação computacional.

O presente trabalho estimou, então, a eficiência da envoltória de acordo com o método simplificado da INI-C usando as 2 interfaces para a avaliação de horas de conforto, em um centro de edifícios de ensino superior federal, tipologia que se enquadra na categoria da etiquetagem obrigatória no âmbito nacional.

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo foi comparar os resultados obtidos pelas diferentes interfaces do *Natural Comfort*, Interface *Web* e *Python*, e sua influência na avaliação de eficiência energética da envoltória obtida através do método simplificado da INI-C usando como estudo de caso o Centro de Atividades Didáticas 2, ou CAD 2, da UFMG. Ademais, buscou-se detalhar as particularidades encontradas na divisão das zonas térmicas, bem como suas possíveis repercussões para a classificação final da envoltória da edificação.

3. MÉTODO

A metodologia do trabalho envolveu a coleta de dados das características físico-estruturais das edificações que compõem o CAD 2 e de seus documentos projetuais – plantas, cortes e memoriais descritivos. A análise foi dividida em três partes: entrada de dados nas interfaces *web* e *Pyhton* da ferramenta *Natural Comfort*, em seguida, comparação dos resultados das horas em desconforto térmico e, por fim, cálculo da carga térmica e classificação final da envoltória dos blocos analisados a partir dos resultados obtidos nas duas interfaces.

3.1. Objeto de estudo

A edificação estudada neste artigo foi o Centro de Atividades Didáticas de Ciências Exatas (CAD 2), inserido no *campus* Pampulha da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), localizado no município de Belo Horizonte e inaugurado em 2011. A figura 1 apresenta a visão de entrada para as edificações, já a figura 2 elucida a disposição dos blocos a partir da vista por satélite.

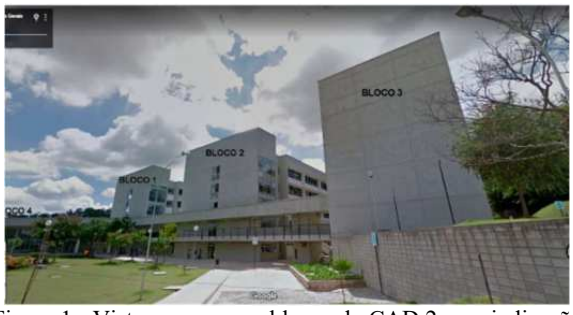


Figura 1 - Vista - acesso aos blocos do CAD 2 com indicação dos blocos analisados. (Fonte: Google Street View, 2022. Modificado pelas autoras).



Figura 2 - Vista aérea e divisão dos blocos do CAD 2. (Fonte: Google Earth, 2022. Modificado pelas autoras).

Tal edificação enquadra-se na tipologia de instituição de ensino superior e compreende 4 blocos distintos, sendo os blocos 1, 2 e 3 destinados a, primordialmente, salas de aula e de informática e o bloco 4, a auditórios, totalizando uma área construída de 12.949 m². Por meio da análise das imagens e do projeto arquitetônico do centro, pode-se afirmar que cada bloco conta com estratégias que visam atender às

necessidades de conforto térmico de seus usuários, como o uso de brises horizontais e verticais, telhados de cor clara e orientação das fachadas para as direções Norte e Sul. Tais recursos são aliados ao combate da incidência direta da radiação solar e, associados às amplas aberturas para ventilação natural, adequam-se às recomendações construtivas para a zona bioclimática 3, de acordo com a Norma 15.220-3 (ABNT, 2005b).

3.2 *Natural Comfort*

Para uso das interfaces *web* e *Python* foi necessário adaptar a geometria da edificação de forma a possibilitar o uso da ferramenta – tal adaptação seguiu aquela proposta por Medeiros (2021), que testou os erros decorrentes da ampliação do uso da ferramenta por meio de simplificações na geometria de edificações de campus universitário.

Os parâmetros alterados foram os relativos à largura e ao comprimento das edificações, uma vez que os blocos são escalonados para acompanhar o perfil natural do terreno, de modo que nem todos os pavimentos possuem o mesmo comprimento (ver figura 3). Ressalta-se que é fundamental manter uma proporção máxima de 1:4 entre largura e comprimento da edificação para que a avaliação seja feita pelas interfaces. Portanto, no caso dos blocos 1 e 2, apenas o comprimento foi alterado, enquanto no bloco 3 a largura também foi modificada, justamente, por conta de tal fração. Ademais, mesmo com as dimensões adaptadas, tanto o volume quanto a área total da edificação permaneceram iguais aos seus valores reais, o que não acarretaria variação significativa no resultado final, como afirmado por Medeiros (2021). Por fim, a informação referente ao fator solar dos vidros também foi ajustada, passando de 0,87 para 0,80 – como pode ser observado na Tabela 3.

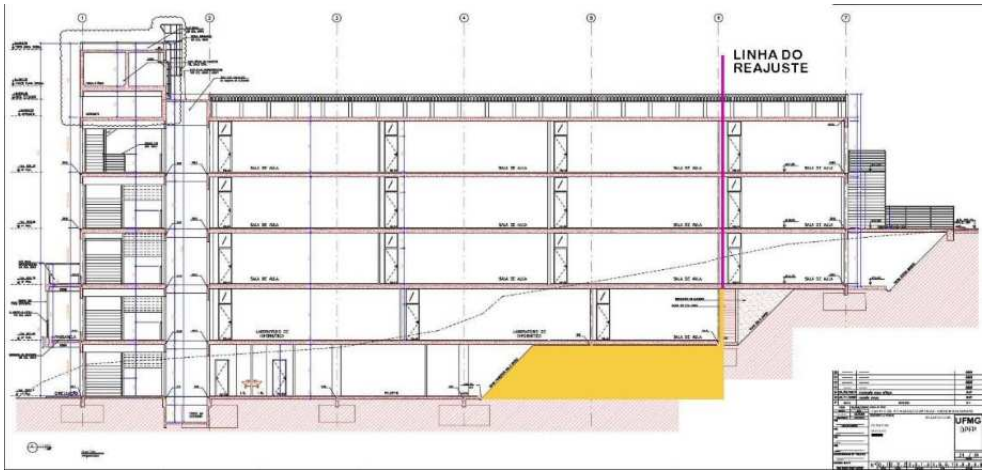


Figura 3 – Corte do bloco 2, CAD 2, UFMG. O ajuste do comprimento da edificação é marcado pela linha rosa enquanto a hachura amarela representa a adequação das áreas dos pavimentos superiores aos pavimentos inferiores (Fonte: Departamento de Planejamento Físico e Projetos - DPFP UFMG, 2009. Modificado pelas autoras).

Tabela 3 - Parâmetros de entrada modificados na Interface Web e no *Natural Comfort (NC)*.

	Comprimento real	**Comprimento *NC***	**Largura real**	**Largura *NC***	**Fator solar real**	**Fator solar NC**
Bloco 1	40,3 m	40,7 m	-	-	0,87	0,8
Bloco 2	37,7 m	30,5 m	-	-	0,87	0,8
Bloco 3	43,0 m	40,0 m	9,6 m	10,3 m	0,87	0,8

3.3 Interface *web*

Para a determinação da classificação do centro de atividades, através do método simplificado da INI-C, cada bloco foi analisado individualmente e, de início, foi utilizada a interface *web* do *Natural Comfort*, que fornece uma estimativa da fração de horas ocupadas em que um edifício será desconfortável (FHdesc). Apenas os blocos 1, 2 e 3 puderam ser avaliados, visto que o quarto bloco é composto por dois espaços de auditório, sem contribuição de ventilação natural.

Ao inserirem-se os dados na interface *web*, a seleção do arquivo climático é feita automaticamente a partir da determinação da cidade em análise. No caso de Belo Horizonte, que possui arquivos diferentes para três microrregiões, não é possível selecionar o arquivo considerado como mais adequado à análise e nem a data de tais arquivos, o que influencia nos resultados finais, visto que os valores relativos à altitude, à latitude e à velocidade média dos ventos apresentam diferenças entre si. Mesmo diante de tais particularidades, as adequações aos blocos foram feitas e obteve-se o resultado inicial do percentual de horas ocupadas em

desconforto térmico. A tabela 4 apresenta os valores dos parâmetros inseridos na interface *web* para cada bloco.

Tabela 4 - Dados de entrada e resultado - Natural Comfort, Interface Web.

	Bloco 1	**Bloco 2**	**Bloco 3**
Localização	BH, MG	BH, MG	BH, MG
Tipologia	Escolar	Escolar	Escolar
Comprimento total	40,7 m	30,5 m	40,0 m
Profundidade total	18,7 m	19,9 m	10,3 m
Pé direito	3,0 m	3,0 m	3,0 m
Número de pavimentos	5	5	4
Área de salas ocupadas	69,38 m²	89,07 m²	17,39 m²
Fator de área de escadas	0,028	0	0,04

3.3 Interface *Pyhton*

Com a finalidade de aferir maior controle sobre os dados utilizados no procedimento de cálculo, foi utilizada a versão original do *Natural Comfort* em *Python 2.7*, que utiliza um arquivo em formato CSV e conta com a inserção de 38 parâmetros controlados pelo próprio usuário. Dessa forma, selecionou-se o arquivo climático da região da Pampulha, elaborado pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, datado de 2009. Este arquivo do tipo INMET é o disponibilizado pelos autores do metamodelo e assume-se que seja a versão que a interface *web* usa (Tabela 5).

Tabela 5 - Arquivo climático de Belo Horizonte (MG) utilizado.

Cidade	**Latitude**	**Arquivo Climático**	**Fonte**
Belo Horizonte	19°82'S	BRA_MG_Belo.Horizonte-Pampulha.AP868000_INMET.epw	INMET, 2009

A rotina *Python* conta com cinco (5) tipos diferentes de dados de entrada: clima, dimensões prediais, dados construtivos, ganhos internos e ventilação. Os nove primeiros dados são relativos ao clima e podem ser retirados do arquivo climático utilizado; as dimensões prediais e os dados construtivos (cada um com oito parâmetros) são os mesmos inseridos na ferramenta *web*. Enquanto isso, os ganhos internos, categoria composta por cinco dados, ao contrário da interface simplificada, podem ser modificados pelo usuário de acordo com as características próprias da edificação em avaliação, em especial a densidade de potência dos equipamentos e de iluminação. Por fim, o último grupo de entrada é o de ventilação, o qual conta com duas tabelas elaboradas pelos autores do programa, a do "fator de correção da velocidade do ar externa" e a de "obstáculos do entorno". Mesmo com a possibilidade da introdução particular a cada usuário, os autores da rotina, Rackes, Melo e Lamberts, afirmam que as variáveis de maior influência no resultado final são Graus-dia de arrefecimento para temperatura base de 18°C (CDD18), a densidade de ocupação, a velocidade do ventilador de teto, a área da edificação e o número de pavimentos.

Na avaliação do CAD 2, o primeiro conjunto de dados citado veio do arquivo climático; para os dois seguintes, foram adotados valores padrões da rotina (descritos no guia do usuário); e, por fim, os dois últimos conjuntos de dados procederam dos projetos dos blocos. É imperativo pontuar que as adaptações relativas às dimensões prediais, feitas no teste da Interface *Web*, foram mantidas na versão *Python*, de forma a equalizar o parâmetro e obter melhor base de comparação entre os métodos.

3.4 Divisão das zonas térmicas para o cálculo da carga térmica

Para obtenção da carga térmica da envoltória, a divisão das zonas térmicas foi feita de acordo com os parâmetros de orientação solar, área sobre pilotis ou contato com o solo, tipo de cobertura ou contato com o ar externo, pé direito, ambiente de permanência prolongada ou transitória e, por fim, forma de condicionamento do ar. Um fator determinante para a separação no caso estudado, foi o contato direto do piso com o solo: já que todos os blocos são escalonados, então, até mesmo no quarto (4°) pavimento há uma faixa, mesmo que estreita, que deve ser levada em conta para a separação.

Como algumas áreas a serem definidas como zonas térmicas eram muito pequenas, surgiu a dúvida sobre a necessidade de separá-las. Buscou-se orientação do fórum de dúvidas do PBE Edifica, mas sem retorno até o momento de envio deste artigo. Nessa toada, foi traçado um sistema para determinar quais zonas seriam mantidas separadas e quais seriam incorporadas às suas zonas de origem, quando algumas delas estavam com áreas pequenas, em comparação com as demais. Tal sistema levou em conta dois aspectos principais: a área

da zona em análise e a razão entre a área da zona separada e área total da zona, ou seja, a zona a ser separada mais a zona de origem. A partir de tal procedimento, foi possível estabelecer um padrão para o caso em estudo, uma vez que tal situação repetiu-se em todos os blocos analisados. A figura 4 apresenta o esquema com o processo utilizado.

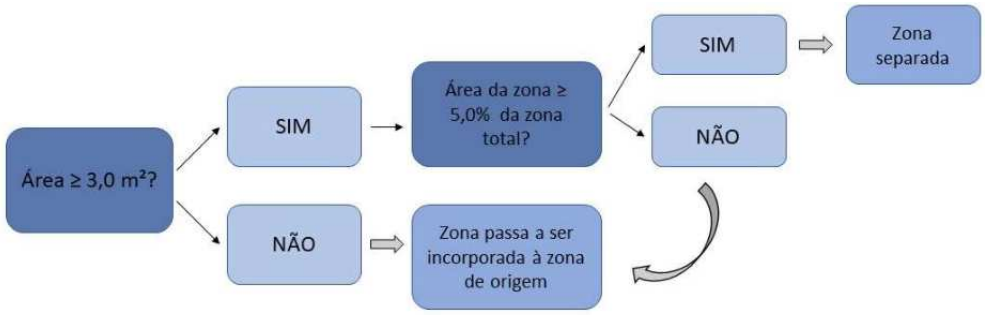


Figura 4 - Sistema desenvolvido para a divisão das zonas térmicas de áreas reduzidas, quando em contato com o solo.

4. RESULTADOS

Em relação à separação das zonas térmicas, cabe citar uma particularidade na análise do quarto pavimento do bloco 3, onde o sistema de áreas reduzidas foi aplicado. Devido à área de contato da laje com o solo, duas zonas surgiram com área inferior a 0,5 m². Assim, elas foram agrupadas às suas zonas "originárias", devido às suas áreas reduzidas e, também, para que o cálculo da carga térmica não ficasse com divisões excessivas – figura 5. Além disso, estas integravam uma zona com área total muito superiores às suas: ZT-03 (13,61 m²), representando menos de 5% do valor.



Figura 5 - Recorte da divisão do quarto pavimento com enfoque na subdivisão das zonas em contato com solo. A linha rosa marca o limite do contato do solo na laje. (Fonte: Departamento de Planejamento Físico e Projetos - DPFP UFMG, 2009. Modificado pelas autoras.)

Ainda sobre a inserção de dados no metamodelo, é relevante pontuar uma limitação percebida do *website*. Ao inserir a quantidade de horas de ocupação, a plataforma "congela" o primeiro valor registrado e o toma como único para o restante das zonas. No CAD 2, as principais atividades são a de salas de aula e a de laboratórios de informática, que funcionam por mais de oito (8) horas diárias – inclusive, certas zonas abrangem ambientes que são utilizados por dez (10) a doze (12) horas, mas tal personalização não foi passível de ser realizada, o que acarreta uma análise menos compatível com o uso real da edificação.

Para determinar o ângulo de obstrução vizinha (AOV), que remete ao impacto das construções vizinhas na abertura de determinada zona térmica, deve-se encontrar três valores medidos a partir das aberturas da zona/ambiente: dois provenientes da vista em planta, em cada lateral até o ponto mais distante da obstrução e um proveniente da vista em corte, do peitoril até o ponto mais alto do bloqueio (BRASIL, 2022). No entanto, o valor a ser considerado é o menor encontrado dentre os três. No objeto de estudo, foram analisadas 88 zonas, sendo 64 perimetrais, o que representa 72,7% do total. Destas 64 zonas, 41 tiveram o seu valor final de 0°, mesmo quando um dos ângulos medidos era superior a 60°. Além disso, constatou-se que 18 zonas, do restante das zonas perimetrais (23 unidades) e que obtiveram AOV superior a 0°, apresentavam uma variação percentual de mais de 50%, quando o menor valor era comparado ao maior. Assim, da mesma maneira que a supracitada questão dos horários não reflete a condição efetiva do uso do edifício, a simplificação do cálculo, ao invés da realização de uma média entre os números averiguados, também o faz – a figura 6 expõe

graficamente a totalização das zonas térmicas e do AOV.

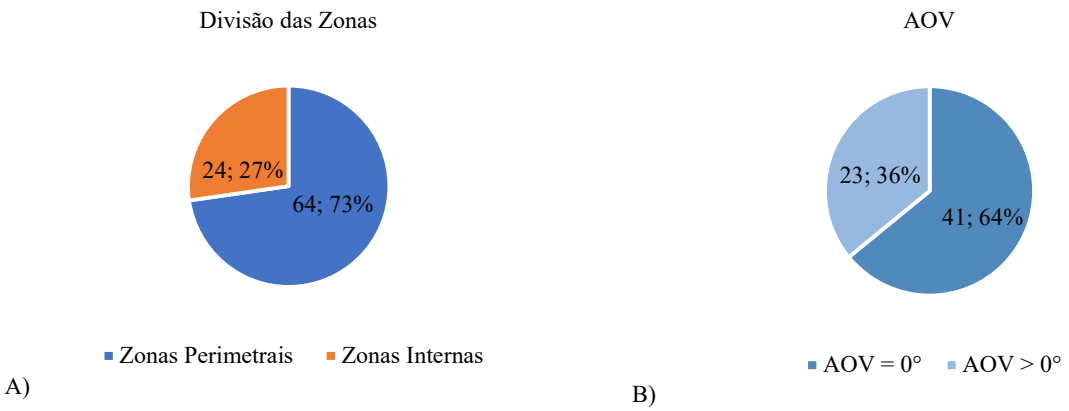


Figura 6 – Separação das zonas térmicas. A) Divisão das zonas entre perimetrais e internas, cores laranja e azul, respectivamente. B) Valor adotado do Ângulo de Obstrução Vizinha (AOV) das zonas perimetrais.

A tabela 6 apresenta os resultados obtidos na aplicação do metamodelo junto às duas interfaces disponíveis. Por meio do cálculo de variação percentual, pode-se verificar a diferença entre os valores obtidos através da Interface *Web* e da versão *Python.* No caso do bloco 3, houve uma mudança significativa, uma vez que pelo website o FHdesc foi superior a 10%, tornando mandatório o cálculo da carga térmica anual para a determinação da classificação de eficiência, enquanto pela versão de linguagem de programação tal resultado foi inferior a 10%, o que garante a classificação automática da edificação como A.

Tabela 6 - Comparação entre resultados Interface web X *Pyhton*.

	BLOCO 1	**BLOCO 2**	**BLOCO 3**
FHDesc Interface Web	36,0%	37,0%	25,0%
FHDesc*Python*	14,7%	13,9%	7,3%
Variação percentual*	-59,0%	-62,4%	-70,8%

* Para o cálculo de variação percentual, foi considerado o valor da Interface *Web* como referência. Valores negativos representam a redução do segundo em relação ao primeiro.

Em relação aos blocos 1 e 2, houve uma redução significativa das horas em desconforto (-59,03% e -62,43% respectivamente) entre a Interface *Web* e da versão *Python,* mas, por excederem o máximo de 10% estabelecido pela INI-C, foi necessário calcular a carga térmica anual de refrigeração para obter a classificação da envoltória. Assim, faz-se relevante pontuar que a ferramenta simplificada do *Natural Comfort*, embora seja mais acessível e fácil de manusear, omite dados importantes para a avaliação da edificação e apresenta resultados substancialmente diferentes daqueles apresentados pela versão *Pyhton 2.7*.

Com a finalização do levantamento dos dados da edificação e do cálculo do fator de forma, foi possível inserir os dados na plataforma e obter a carga térmica de refrigeração anual da edificação real, em kWh/ano, e o seu percentual de redução de carga comparado à edificação de referência (figuras 7, 8 e 9).

Ademais, mesmo com os empecilhos do processo e as adaptações dos parâmetros, a Interface *Web* do metamodelo permitiu o cálculo da carga térmica dos blocos, com a adição dos valores do coeficiente de redução da carga térmica anual para o sistema individual da envoltória com base no cálculo do fator de forma da edificação (tabela 8.12 – Manual INI-C). A tabela 7 apresenta os valores do fator de forma para o grupo climático 10, no qual o município de Belo Horizonte se insere.

Tabela 7 - Siglas: Grupo climático (GC), fator de forma (FF).

Grupo Climático	**Coeficiente de redução da carga térmica total anual da classificação D para a A (CRCCgTTD-A)**				
	FF ≤ 0,20	**0,20 ≤ FF ≤ 0,30**	**0,30 ≤ FF ≤ 0,40**	**0,40 ≤ FF ≤ 0,50**	**FF > 0,50**
GC 10	0,15	0,16	0,18	0,18	0,19

Os fatores de forma para os blocos 1, 2 e 3 foram respectivamente de 0,29, 0,28 e 0,37 o que leva a um coeficiente de redução da carga térmica de 0,16, 0,16 e 0,18. Desta forma, ao obter percentuais de redução de 24 a 29% em relação à referência, os blocos possuem classificação A mesmo sem a contabilização da redução da carga térmica pelo aproveitamento da ventilação natural.

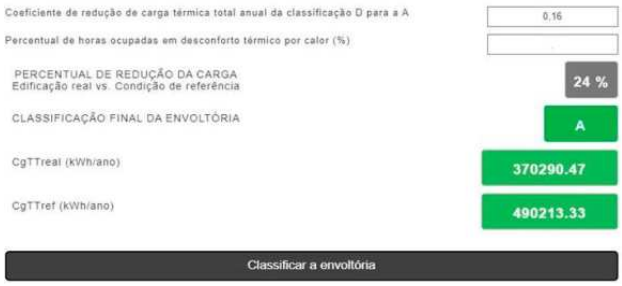


Figura 7 – Classificação do bloco 1 pelo metamodelo de Interface *Web*.

Pela figura 7, pode-se ver que, para o Bloco 1, ao dividir-se o valor de 490.213,33 kWh/ano referente à carga térmica da edificação de referência por 370.290,33 kWh/ano obtido para a carga térmica da envoltória da edificação real, obtém-se 24% de redução. Desta forma, mesmo que se entre na interface com o PHOCT de 14,75% este não é levado em conta na avaliação final, devendo este cálculo ser feito em separado, como apresentado na Tabela 8.

Então, como a interface *web* do metamodelo de carga térmica não realiza o cálculo com o aproveitamento da ventilação natural, tal dedução foi feita através de uma planilha Excel e da equação 2. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 8.

$$\mathrm{CgTT_{real}} = \mathrm{CgTR_{real}} \cdot \mathrm{FH_{desc}} \qquad \text{Equação 2}$$

Onde:
$CgTT_{real}$: carga térmica total anual da edificação real, kWh/ano
$CgTR_{real}$: carga térmica de refrigeração anual da edificação real, em kWh/ano
FH_{desc}: fração de horas excedentes por calor ao ano

Tabela 8 – Carga térmica total anual da edificação ($CgTT_{real}$) a partir dos valores de FH_{desc} de cada interface do *Natural Comfort*.

Variável	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3
Fator de forma (FF)	0,29	0,28	0,37
$CRCCgTT_{D-A}$	0,16	0,16	0,18
$CgTR_{ref}$ (kWh/ano)	490.213,33	505.799,96	177.986,97
$CgTR_{real}$ (kWh/ano)	370.290,47	389.573,31	127.025,64
Redução (%) sem ventilação	24,0%	23,0%	29,0%
FHdesc Interface web (%)	36,0%	37,0%	25,0%
$CgTT_{real}$ (kWh/ano)	**140.246,39**	**137.007,47**	**31.756,41**
Fhdesc Interface Python	14,75%	13,9%	7,3%
$CgTT_{real}$ (kWh/ano)	**57.462,06**	**51.470,38**	**9.272,87**
Redução (%)	**88,9%**	**89,0%**	**98,1%**

Mesmo com percalços na aplicação dos programas, a classificação do sistema individual da envoltória para a tipologia de ensino superior gerou resultados positivos: os três blocos da edificação atingiram o nível A, o máximo na escala de eficiência energética.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou uma comparação entre os resultados de da fração de horas em desconforto térmico por ano (PHOCT) obtidos pelas seguintes interfaces do programa *Natural Comfort*: o *website*, desenvolvido pela INI-C, e a rotina *Python* 2.7. Não se encontrou na literatura estudos semelhantes ao realizado além daqueles publicados por Medeiros (2021). Na primeira etapa de cálculo da fração de horas em desconforto térmico por ano, analisaram-se os projetos de cada bloco, a fim de melhor compreender seu formato e avaliar se seria necessário a modificação de alguma de suas características para a inserção dos dados nas interfaces. No caso de estudo, os parâmetros relativos às dimensões prediais e ao fator solar, por exemplo, tiveram de ser alterados. Após o resultado inicial, dividiram-se as zonas térmicas, levando em conta: a orientação solar, o contato da laje com o solo ou o ar externo, o pé direito, a forma de condicionamento de ar e disposição de ambientes de permanência prolongada e de permanência transitória - critérios estabelecidos pela INI-C. A etapa final envolveu a inserção dos parâmetros de entrada no metamodelo desenvolvido pelo PBE Edifica para o cálculo da carga térmica total anual da envoltória, além da dedução do aproveitamento da ventilação natural para, então, obter a classificação final do sistema individual da envoltória.

Faz-se relevante pontuar que a ferramenta simplificada do Natural Comfort, embora seja mais acessível e fácil de manusear, omite dados que são importantes na avaliação da edificação e apresenta

resultados substancialmente diferentes daqueles gerados pela versão *Pyhton 2.7* que, mesmo sendo um programa menos usual, possui material de orientação que garante a compreensão de seu funcionamento. O processo de seleção do arquivo climático impactou nos resultados produzidos pelo *Pyhton*. Assim, optou-se pelo arquivo do INMET 2009, por ser uma informação procedente de uma Instituição Nacional.

Considera-se bem-vinda a existência, junto à INI-C, de uma ferramenta que possibilite analisar mais expeditamente as horas de conforto térmico obtidas pelo uso de ventilação natural em edificações, antes inexistente no RTQ-C. No entanto, há que se conhecer mais profundamente as ferramentas disponibilizadas para que decisões acertadas de projeto sejam tomadas.

Pela aplicação dos metamodelos feita neste artigo em um prédio existente, verificou-se a necessidade de interpretação embasada com relação aos dados de entrada relativos à geometria da edificação, da decisão sobre o arquivo climático a ser usado e da definição sobre qual interface da ferramenta Natural Comfort usar para que a inserção de dados possa representar de forma o mais fidedigna possível o comportamento da edificação. Cada um destes fatores terá influência nos valores finais obtidos para a carga térmica calculada. Apesar de no presente estudo as diferenças entre as plataforma usadas não terem impactado no resultado final do desempenho da envoltória, eles podem impactar significativamente nas decisões projetuais, uma vez que por uma das plataformas não seria necessário o uso de condicionamento artificial em um dos blocos, e, na outra, pela Instrução Normativa, deveria ser feito projeto (e consequente instalação) de sistema de condicionamento artificial do ar, impactando não apenas no custo de instalação mas também no custo de operação da edificação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2**: 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, 2005a. A.

_____. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social. Rio de Janeiro, 2005b. B.

BRASIL. Eletrobras/Procel. Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E). **Manual de aplicação da INI-C Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas**. V.1. junho de 2021. Disponível em: http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/Manual%20INI-C_JUN_V01.pdf

_____. Ministério Da Economia. Instituto Nacional De Metrologia, Qualidade E Tecnologia (INMETRO). Portaria Nº 309, de 6 de setembro de 2022. **Instruções Normativas e os Requisitos de Avaliação da Conformidade para a Eficiência Energética das Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas e Residenciais – Consolidado**. 2022. Disponível em: http://sistema-sil.inmetro.gov.br/rtac/RTAC002989.pdf.

CARLO, J. C.; LAMBERTS, R. Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios – parte 1: método prescritivo. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 2, p. 7-26, 2010.

HENSEN, J. L. M.; LAMBERTS, R. (Ed.). **Building performance simulation for design and operation**. Londres: Routledge, 2011.

MEDEIROS, H. G. **Método simplificado de avaliação do conforto térmico para ambientes ventilados naturalmente ou híbridos do INI-C: desempenho e limitações.** Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável) – Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais. Minas Gerais, 2021.

PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM (PBE). **Nova INI-C** 2022. Disponível em: https://pbeedifica.com.br/nova-ini/. Acesso em: dez. 2022.

_____ . Fórum INI-C 2022. Disponível em: http://pbeedifica.com.br/forum/. Acesso em: dez. 2022.

_____ . PBE EDIFICA, 2022. Interface Web para a estimativa da carga térmica de resfriamento anual da envoltória (edificações condicionadas artificialmente). Disponível em: http://pbeedifica.com.br/redes/comercial/index_with_angular.html#. Acesso em: dez. 2022. A

_____. PBE EDIFICA, 2022. Interface Web para a estimativa da fração de horas excedentes por calor (edificações ventiladas naturalmente e híbridas). Disponível em: http://pbeedifica.com.br/naturalcomfort/. Acesso em: fev. 2022. B

_____. PBE EDIFICA, 2022. Natural Comfort e arquivos complementares. Disponível em: http://www.pbeedifica.com.br/node/601. Acesso em: jan. 2023.C

RACKES, A.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. **Naturally comfortable and sustainable: Informed design guidance and performance labeling for passive commercial buildings in hot climates**. Applied Energy, n. 174, p. 256-274, 2016.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Universidade Federal de Minas Gerais pelo fomento à pesquisa.