

Método simplificado de avaliação de conforto térmico da INI-C: desempenho e limitações

INI-C simplified thermal comfort assessment method: performance and limitations

Método simplificado de evaluación del confort térmico INI-C: prestaciones y limitaciones

Roberta Vieira Gonçalves

de Souza 

Departamento da Tecnologia do Design, da
Arquitetura e do Urbanismo, Universidade
Federal de Minas Gerais.
Belo Horizonte (MG), Brasil.

Helder Gattoni Medeiros 

Programa de Pós-Graduação em Ambiente
Construído e Patrimônio Sustentável,
Universidade Federal de Minas Gerais.
Belo Horizonte (MG), Brasil.

Beatriz Carvalho Avidago

Geraldo 

Graduação em Arquitetura e Urbanismo,
Universidade Federal de Minas Gerais.
Belo Horizonte (MG), Brasil.

Alice Selim de Salles Camilo 

Graduação em Arquitetura e Urbanismo,
Universidade Federal de Minas Gerais.
Belo Horizonte (MG), Brasil.

Maria Angélica Vieira Pinto* 

Programa de Pós-Graduação em Ambiente
Construído e Patrimônio Sustentável,
Universidade Federal de Minas Gerais.
Belo Horizonte (MG), Brasil.
mavp@ufmg.edu

* Autor correspondente.

CRediT

Contribuição de autoria: Concepção; Metodologia; Supervisão; Redação – revisão e edição: DE SOUZA, Roberta V.G.; Concepção; Curadoria de dados; Coleta de dados; Metodologia; Validação; Visualização; Redação – rascunho original: MEDEIROS, Helder G.; Redação – rascunho original: GERALDO, Beatriz C.A.; Redação – rascunho original: CAMILO, Alice S.d.S.; Redação – rascunho original: PINTO, Maria Angélica V.

Conflitos de interesse: Os autores certificam que não há conflito de interesse.

Financiamento: Bolsa de produtividade do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq.

Aprovação de ética: Os autores certificam que não houve necessidade de aprovação de Comitê de Ética.

Uso de I.A.: Os autores certificam que não houve uso de inteligência artificial na elaboração do trabalho

Editores responsáveis: Daniel Sant’Ana (Editor-Chefe); Joara Cronemberger (Editora Associada); Sarah Adorno Blanco Vencio (Assistente editorial).

Resumo

A Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas, INI-C, publicada em 2021 incorporou um método simplificado para avaliação do Percentual de Horas em Conforto Térmico (PHOCT) para espaços naturalmente ventilados através de um Metamodelo desenvolvido em Python. Este artigo objetiva verificar a aplicabilidade deste método utilizando para tal, 82 edificações do campus da UFMG, classificadas em três grupos conforme a aplicabilidade do método: 1) aplicável, 2) aplicável com ajustes e 3) não aplicável. Apenas 16% das edificações enquadraram-se no Grupo 1. O método simplificado foi aplicado com modificações em três edificações do Grupo 2, e os resultados foram comparados com simulação computacional no Energy Plus. Verificou-se que os valores de PHOCT obtidos pelo Metamodelo são próximos aos gerados por simulação, com diferença máxima de 5,7%. Por fim, considera-se que o novo método pode promover uma avaliação geral de edificações ventiladas naturalmente, porém devem ser considerados ajustes no mesmo para ampliar a sua aplicabilidade.

Palavras-chave: Ventilação Natural; Conforto térmico; Método de Simulação; Método Simplificado; Edificações Escolares.

Abstract

Inmetro Normative Instruction for the Energy Efficiency Classification of Commercial, Service, and Public Buildings, INI-C, published in 2021, incorporated a simplified method for evaluating the Percentage of Hours in Thermal Comfort (PHOCT) for naturally ventilated spaces through a Metamodel developed in Python. This article aims to verify its applicability and for this purpose, 82 buildings on the UFMG campus were analysed, classified into three groups according to the method's applicability: 1) applicable, 2) applicable with adjustments, and 3) not applicable. Only 16% of the buildings fell into Group 1. The simplified method was applied with modifications to three buildings in Group 2, and the results were compared with computer simulations in EnergyPlus. It was found that the PHOCT values obtained by the Metamodel are close to those generated by simulation, with a maximum difference of 5.7%. Finally, it is considered that the new method can support a general evaluation of naturally ventilated buildings; however, adjustments should be considered to broaden its applicability.

Key-words: Natural Ventilation; Thermal Comfort; Simulation Method; Simplified Method; School Buildings.

Resumen

La Instrucción Normativa de Inmetro para la Clasificación de Eficiencia Energética de Edificios Comerciales, de Servicios y Públicos, INI-C, publicada en 2021, incorporó un método simplificado para evaluar el Porcentaje de Horas en Confort Térmico (PHOCT) para espacios naturalmente ventilados mediante un Metamodelo desarrollado en Python. Este artículo tiene como objetivo verificar su aplicabilidad usando para ello, 82 edificios del campus de la UFMG, clasificados en tres grupos según la aplicabilidad del método: 1) aplicable, 2) aplicable con ajustes y 3) no aplicable. Solo 16% de los edificios correspondieron al Grupo 1. El método simplificado se aplicó con modificaciones en tres edificios del Grupo 2, y los resultados se compararon con simulaciones computacionales en EnergyPlus. Se observó que los valores de PHOCT obtenidos por el Metamodelo son cercanos a los generados por la simulación, con una diferencia máxima del 5,7%. Finalmente, se considera que el nuevo método puede promover una evaluación general de edificios ventilados naturalmente; sin embargo, deben considerarse ajustes para ampliar su aplicabilidad.

Palabras-clave: Ventilación Natural; Confort Térmico; Método de Simulación; Método Simplificado; Edificios Escolares

1 Introdução

Nas perspectivas energéticas mundiais, a crescente demanda por eletricidade é uma característica que tem impulsionado o crescimento econômico e pela elevação da eletrificação dos usos finais, tais como dos carros elétricos e o aumento da demanda por data centers. O consumo final da participação da eletricidade representa atualmente 20% com previsão de aumento para 26% em 2035 no Cenário de Políticas Declaradas (STEPS), 29% no Cenário de Promessas Anunciadas (APS) e 36% no Cenário de Emissões Líquidas Zero (NZE) (IEA, 2024). A previsão é que entre 2018 e 2050, o aumento de consumo energético mundial seja de aproximadamente 50% (Mostafazadeh, Eirdmoussa e Tavakolian, 2023). O setor de edifícios é atualmente responsável por 40% do consumo energético mundial sendo que o aquecimento e o resfriamento dos ambientes são responsáveis por 34% deste consumo (Prabhakar et al, 2020). Na Comunidade Europeia foram observadas reduções de consumo de energia de até 60% no setor de edificações nos estados-membros quando as regulamentações de eficiência energética se tornaram mais restritas mostrando que a etiquetagem tem um efeito positivo no desempenho energético do estoque construído (Wong e Krüger, 2017).

No Brasil, de acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN) de 2023, os setores público e comercial consumiram juntos 24,2% da energia elétrica consumida no país (Brasil, 2023). Com a inserção de medidas de estratégias projetuais, espera-se que o Brasil tenha potencial para reduzir o consumo de energia em 50% em edifícios novos e 30% em edifícios reformados por meio da aplicação de conceitos de eficiência energética (Procelinfo, 2014).

Além de ser favorável à saúde, a ventilação natural reduz a necessidade do uso de condicionamento artificial do ar e, conseqüentemente, o consumo energético das edificações (Báez et al., 2017). Veloso, Andrade Filho e Souza (2023) afirmam que há uma tendência crescente no Brasil de novos edifícios de escritórios serem projetados de acordo com as tendências internacionais e códigos de certificação verde, que promovem o uso de escritórios de planta aberta totalmente condicionados e muitas vezes desconsideram os benefícios potenciais da ventilação natural. Essa tendência pode levar a aumentos significativos no consumo de energia elétrica neste setor, variando de 11% a 123%, quando comparados a edifícios que incorporam a ventilação natural como medida adaptativa. Dessa forma, considerando as particularidades de cada local, a ventilação natural pode ser utilizada como uma estratégia a fim de proporcionar maior conforto térmico e de reduzir o consumo energético das edificações (Báez et al., 2017).

Os ambientes escolares, frequentemente apresentam temperaturas inadequadas para aqueles que os ocupam e, esse fator, influencia diretamente no aprendizado dos estudantes, podendo prejudicar a atenção e a capacidade de resolução de atividades (Garcia et al., 2021; Puteh et al., 2012). Tem-se ainda que a qualidade do ar é um fator que deve ser considerado ao projetar uma edificação escolar, visto que os usuários passam grande parte do dia dentro delas e neste sentido, a ventilação natural deve ser encorajada (Almeida e Freitas, 2014; Garcia, Souza e Silva, 2023).

Durante a pandemia da COVID-19, estudos apontaram que uma ventilação eficiente nos ambientes de uso coletivo diminui o risco de contaminação por doenças respiratórias (Morawska e Milton, 2020; Garcia, Souza e Silva, 2023). Diante disso, a UFMG determinou um protocolo de biossegurança com adequações ao funcionamento da universidade

durante a pandemia, dentre elas, a ventilação natural teve destaque, com a abertura de portas e janelas (UFMG, 2020).

1.1 Etiquetagem de edificações no Brasil

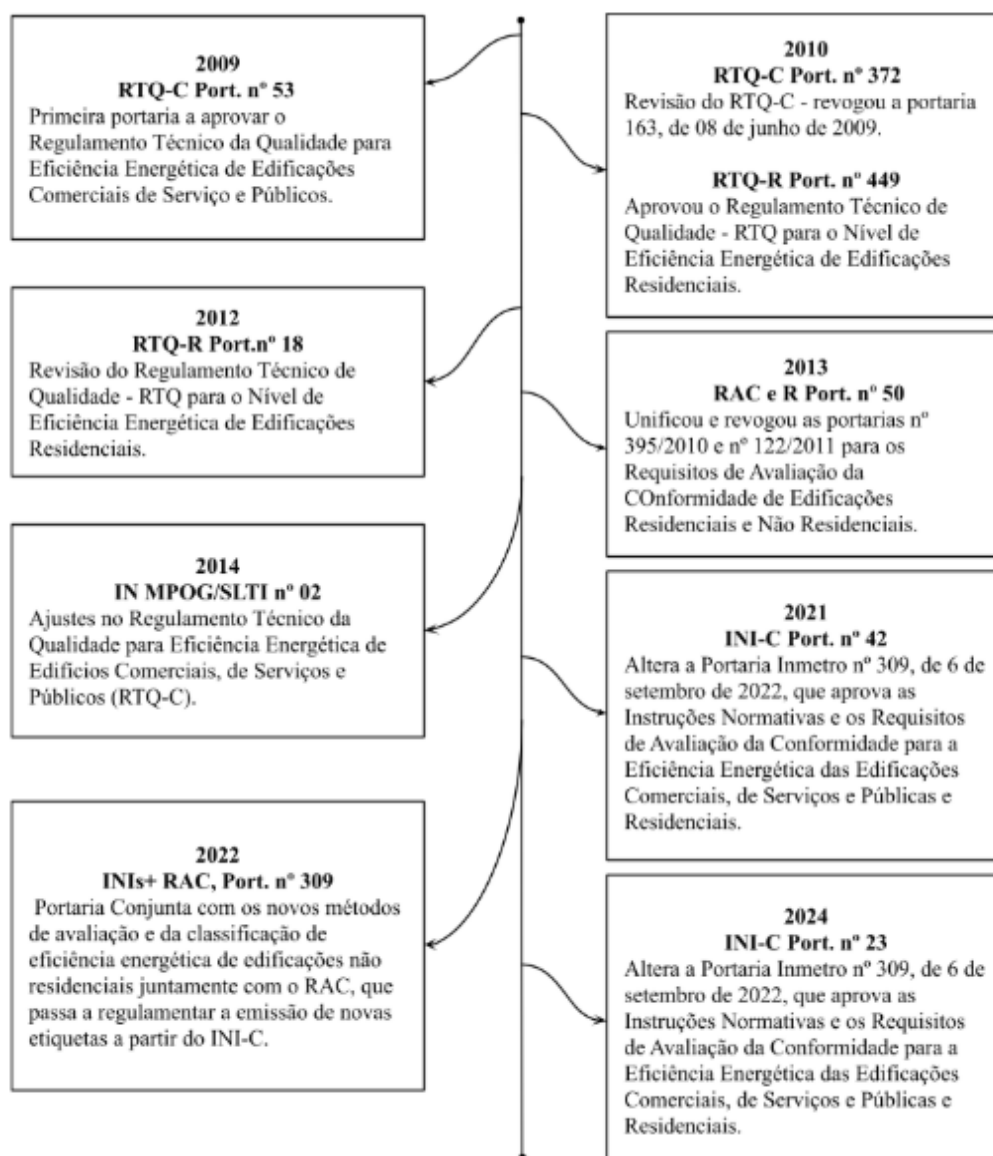
Em 1984, o INMETRO deu início às discussões acerca da criação de programas de avaliação que contribuíssem com a racionalização do uso de energia no Brasil, e disponibilizassem informações sobre a eficiência energética dos equipamentos disponíveis no mercado nacional (PBE Edifica, 2024).

De 1985 a 2005, foram instaurados pelo Ministério de Minas e Energia, o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, PROCEL (PBE Edifica, 2024), as leis nº. 9.991 e nº. 10.295 e o Decreto nº 4.059 (Brasil 2000; Brasil 20011), o Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética - CGIEE, o Grupo Técnico para Eficientização de Energia nas Edificações no País - GT-Edificações, o PROCEL EDIFICA e; a Secretaria Técnica - ST-Edificações e a Comissão Técnica - CT-Edificações. A última, regularizada pelo Inmetro, definiu o processo de obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia ENCE (PBE Edifica, 2024).

A partir desse momento, no âmbito do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), foram elaborados o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C), o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais (RTQ-R) e seus documentos correlatos. Entre esses documentos estão os Requisitos de Avaliação da Conformidade para Eficiência Energética de Edificações (RAC) e os Manuais destinados à aplicação do RTQ-C e do RTQ-R (PBE Edifica, 2024).

Por fim, em 2017, visando o desempenho energético de construções com foco no uso de energia primária, o Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E) e o PROCEL Edifica, lançaram a proposta de uma nova abordagem (Brasil, 2021) de avaliação, que promoveu a criação da Instrução Normativa Inmetro para Classificação da Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C) em 2021. A INI-C é, na prática, uma atualização do antigo Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) (Brasil, 2021). A alteração no nome ocorreu para refletir a transição de um regulamento técnico para uma instrução normativa mais abrangente e alinhada às necessidades atuais de avaliação e certificação da eficiência energética no país. Essas etapas são ilustradas em uma linha do tempo na Figura 1.

Figura 1: Linha do tempo que identifica todas as publicações e destaca os prazos e disposições transitórias entre os RTQs e as INIs.



Fonte: Adaptado de PBE Edifica (2004).

1.2 INI-C

Em 2022, o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), publicou a Portaria Inmetro n° 309, relativa às Instruções Normativas e os Requisitos de Avaliação da Conformidade para a Eficiência Energética das Edificações Residenciais (INI-R) e para Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C) (Brasil, 2022), sendo este o objeto do presente trabalho.

Assim como no seu antecessor, o RTQ-C, todos os sistemas (envoltórias, condicionamento de ar, iluminação e aquecimento de água) são avaliados. No entanto, esse novo método utiliza diretamente o consumo de energia elétrica ou térmica usada em cada um dos sistemas avaliados da edificação, que são somados e comparados com as condições de referência. Além disso, a proposta leva em consideração as emissões de dióxido de carbono (CO₂), o uso racional de água, a geração local de energia renovável e o consumo estimado de equipamentos (Brasil, 2021).

A INI-C possibilita a aplicação tanto de método simplificado quanto de método de simulação para cada item avaliado, exceto o aquecimento de água, como é apresentado no Tabela 1 (Brasil, 2021).

Tabela 1: Combinações possíveis entre os sistemas individuais e os métodos de avaliação simplificado e de simulação.

Combinações possíveis entre os sistemas individuais e os métodos de avaliação simplificado e de simulação.			Método de simulação					
			Envoltória		Iluminação natural	Iluminação Artificial	Condic. de ar	Aquecimento de ar
			Edif. CA	Edif. VN				
Método Simplificado	Envoltória	Edif. CA	---	✓	✓	✓	X	X
		Edif. VN	✓	---	✓	✓	X	X
	Iluminação natural		✓	✓	-----	✓	X	X
	Iluminação Artificial		✓	✓	✓	-----	✓	X
	Condic. de ar		X	X	✓	✓	-----	X

Fonte: Brasil (2021, p. 15).

1.3 Envoltória na INI-C

A avaliação da envoltória se dá pelo percentual de redução da carga térmica total anual (RedCgTT), que é obtido pela razão entre a carga térmica total anual da envoltória da edificação real (CgTTreal) e a condição de referência (CgTTref). Para a condição real, a carga térmica total anual deve ser encontrada com base no somatório das cargas térmicas de refrigeração anuais (CgTR real em kWh/ano), tomando em consideração todas as zonas térmicas artificialmente condicionadas. A estimativa da carga térmica é baseada em um metamodelo, um modelo matemático mais simples que representa a resposta de um modelo de simulação mais complexo, que está disponível online (BRASIL, 2021).

Nos casos em que a edificação é totalmente ventilada naturalmente ou utiliza uma combinação de ventilação natural e condicionamento artificial de ar, o Percentual de Horas Ocupadas em Conforto Térmico, PHOCT (%) deve ser avaliado. A fração de horas excedentes por calor (FHdesc) ao longo do ano para o período de ocupação deve ser usada para calcular o PHOCT aproximado (BRASIL, 2021). Para a estimativa da FHdesc, pode ser usado um metamodelo, disponível em <http://www.pbeedifica.com.br/NaturalComfort>.

1.4 Metamodelo para FHdesc

O método simplificado de estimativa da FHdesc utiliza um metamodelo em que se deve incorporar parâmetros para determinar as condições de conforto térmico nas edificações naturalmente ventiladas. Dentre esses parâmetros, 9 (nove) se referem ao clima da região e 29 (vinte e nove) se referem às características da edificação avaliada (Rackes, Melo e Lamberts, 2016). No Quadro 1 são apresentados os limites dos parâmetros de entrada utilizados no Metamodelo de ventilação natural.

Quadro 1: Limites dos parâmetros de entrada do Metamodelo para ventilação natural.

Dados de entrada		Unidade	Valores	
			Min.	Max.
I	Temperatura média externa anual (Tar)	°C	10	30
II	Média anual das dif. entre as temp. máx. e mín. diária (TarMD)	°C	3	15
III	Dif. entre o valor máx. e mín. das temp. externas anuais (TarMA)	°C	3	28
IV	Graus-dia de arrefecimento para temp. base de 18°C (CDD18)	K.dia	0	3800
V	Graus-dia de arrefecimento para temp. base de 25°C (CDD25)	K.dia	0	1600
VI	Média anual da radiação solar direta normal (MRDR)	W/m ²	40	200
VII	Média anual da radiação solar difusa no plano horizontal (MRDH)	W/m ²	70	130
VIII	Velocidade média do ar externo anual (VMV)	m/s	0	50
IX	Altitude	m	0	2000
X	Comprimento total (maior dimensão entre os lados da edificação)	m	13	200
XI	Profundidade total (menor dimensão entre os lados da edificação)	m	8	50
XII	Altura entre pavimentos	m	2,75	4,25
XIII	Número de pavimentos	-	1	5
XIV	Área média das salas ocupadas	m ²	9	400
XV	Fração total da área do edifício destinada às escadas	-	0	0,28
XVI	WWR (fração de abertura da fachada)	-	0,05	0,7
XVII	Ângulo médio de sombreamento vertical médio	°	0	45
XVIII	Absortância solar média das paredes externas	-	0,2	0,8
XIX	Capacidade térmica média das paredes	kJ/m ² .K	40	500
XX	Absortância solar média da cobertura	-	0,2	0,8
XXI	Transmitância térmica média da cobertura	W/m ² .K	0,1	5
XXII	Capacidade térmica média da cobertura	kJ/m ² .K	10	400
XXIII	SHGC (coeficiente de ganho solar do vidro)	-	0,2	0,8
XXIV	Transmitância térmica do vidro	W/m ² .K	1	6
XXV	Média da combinação entre a dens. de pot. de ilum. e de equipamentos das salas de permanência prolongada	W/m ²	1	25
XXVI	Média da combinação entre a dens. de potência de iluminação e de equipamentos das áreas de permanência transitória	W/m ²	1	15
XXVII	Densidade de ocupação	ocup./m ²	0,01	1
XXVIII	Hora de início de ocupação	h	6	10
XXIX	Hora final de ocupação	h	14	22
XXX	Fator de correção da velocidade do ar externa	-	0,10	0,40
XXXI	Obstáculos do entorno	-	0,3	1,0
XXXII	Média da fração máxima de abertura de todas as janelas	-	0,2	1
XXXIII	WWRnoite (fração de abertura da fachada das janelas destinadas à ventilação noturna)	-	0	0,17
XXXIV	Relação entre a largura e a altura das janelas primárias	-	0,1	50
XXXV	Coeficiente de descarga das janelas primárias	-	0,40	0,8
XXXVI	Área efetiva de vazão entre os espaços ocup. e as áreas de permanência compartilhada, por comp. de parede compartilhada	-	0,000	0,4
XXXVII	Incremento da velocidade do ar a partir de ventiladores de teto	m/s	0	0,9

Fonte: Adaptado de Rackes, Melo e Lamberts (2016).

Conforme Rackes, Melo e Lamberts (2016), o Metamodelo tem o intuito de facilitar a validação dos sistemas passivos de ventilação, tendo sido desenvolvido após a realização de mais de 50 mil simulações termoenergéticas. Desenvolvido com base em edificações escolares, ele consegue quantificar o desempenho térmico delas por meio da fração anual de horas ocupadas excedentes ao limite de conforto sugerido pela ASHRAE 55-2017. Fatores como o aumento da área construída, do número de andares, da densidade de ocupação e da densidade da potência instalada podem aumentar o desconforto na edificação (Rackes, Melo e Lamberts, 2016).

A complexidade da aplicação dos métodos de simulação, ocorre em razão dos programas, que além de apresentarem interfaces não didáticas, exigem do usuário não só a habilidade de configurar as ferramentas, como também a compreensão dos fenômenos físicos e químicos envolvidos, bem como um bom entendimento das soluções numéricas

(Versteeg e Malalasekera, 1995). Dessa forma, esse processo costuma envolver profissionais de diferentes áreas para desenvolver o modelo e alimentar o banco de dados para a simulação, visto que tanto a decisão dos dados de entrada, quanto a interpretação dos resultados do modelo requer um domínio da temática (Meusel e Wetsphal, 2017). Um outro problema que pode invalidar o uso de programas de simulação termoenergética de edificações brasileiras é a adaptação dos programas a realidade brasileira, como por exemplo dados climáticos reais, topografias e topologias e interfaces gráficas em português, que se torna inacessível para toda a população brasileira (Medeiros e Souza, 2019).

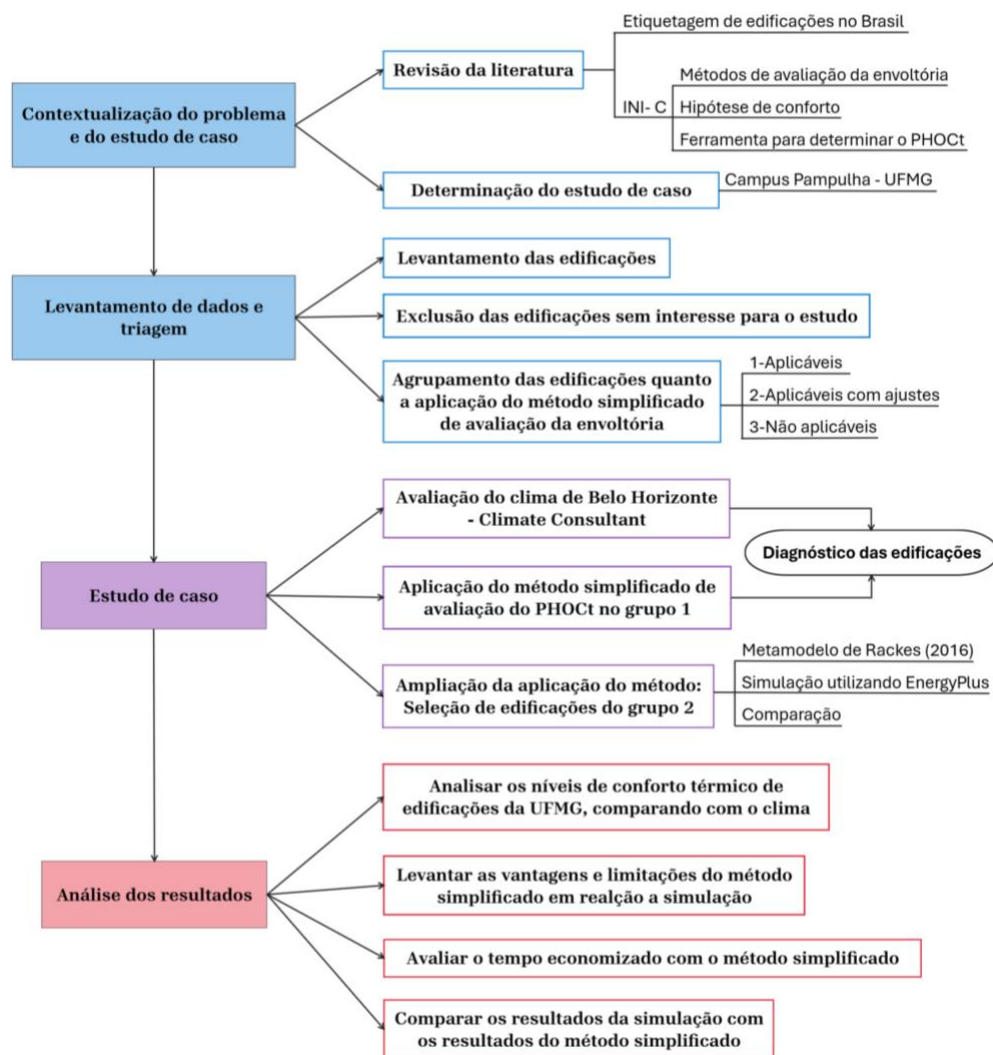
Por outro lado, as avaliações simplificadas, apesar de preverem um valor estimado, na maioria das vezes apresentam resultados próximos aos resultados das simulações computacionais, sendo assim suficientes para o fornecimento de percepções rápidas, sem exigir tantos dados e apresentando uma aplicação mais rápida e menos complexa.

O presente trabalho fruto de uma dissertação de mestrado (Medeiros, 2021), buscou identificar eventuais limitações do novo sistema avaliativo propondo recomendações para ampliar o uso da ferramenta de avaliação do conforto térmico da INI-C tendo como objeto de estudo as edificações do Campus Pampulha da Universidade Federal de Minas Gerais.

2 Metodologia

Dois métodos de avaliação do PHOCT foram utilizados para analisar de forma abrangente o método simplificado de avaliação de edificações naturalmente ventiladas do INI-C, o método simplificado e a simulação computacional tendo como estudo de caso edificações do Campus Pampulha da UFMG. Nos dois métodos, a condição de conforto utilizada para definir as condições térmicas aceitáveis para um ambiente naturalmente ventilado foi baseada no modelo de conforto adaptativo da ASHRAE 55-2017. Para alcançar os objetivos propostos, foram seguidos os procedimentos metodológicos conforme Figura 2.

Figura 2: Etapas da Pesquisa.



2.1 Estudo de Caso

Com uma área de 699.630m² de área construída, o objeto de estudo deste artigo são as edificações da Universidade Federal de Minas Gerais, mais especificamente do Campus Pampulha, formado por prédios/complexos voltados a pesquisas e apoio e administração das unidades acadêmicas.

Foram levantadas plantas arquitetônicas de 47 edificações, divididas em 111 blocos. Projetos arquitetônicos e tipos de usos e ocupação foram levantados e analisados por meio do acervo da universidade, a fim da realização de triagem das edificações de interesse para a pesquisa e agrupamento em relação a aplicabilidade do Metamodelo. Dessas, 29 blocos ou edificações foram considerados sem interesse para a pesquisa realizada, por não serem ventiladas naturalmente ou ventiladas de forma híbrida e por terem funcionamento divergente de escritórios, ou de salas acadêmicas. Cada bloco da edificação foi analisado separadamente e depois foi avaliado como uma edificação.

As edificações tidas como de interesse para a pesquisa foram avaliadas no atendimento aos limites estabelecidos pela INI-C para a aplicação do método simplificado: formato paralelepipedal; comprimento entre 13 m e 200 m; largura entre 8 m e 50 m; pé direito entre 2,75m e 4,25 m; máximo de cinco andares; relação entre comprimento e largura inferior a quatro; altura total máxima de 16m; variação de área de até 10% entre as salas e espaço das APPs.

Como poucas edificações/blocos se encaixam no padrão, considerou-se realizar pequenas modificações para a possibilidade de aplicação no modelo simplificado como por exemplo: alteração da relação comprimento e largura, que não deve ultrapassar o limite de 4, mantendo a área original.

Com isso, três grupos foram definidos de acordo com a aplicabilidade do método: 1) edificações nas quais o método simplificado pode ser aplicado sem ajustes, 2) edificações nas quais o método simplificado pode ser aplicado com ajustes e 3) edificações nas quais o método simplificado não é aplicável.

Nesse contexto, três prédios foram selecionados para que fosse possível testar a ampliação da aplicabilidade do Metamodelo, os quais compõem o Grupo 2, sendo eles, Anexo Dança da Escola de Belas Artes, EBA, Bloco 2 da Faculdade de Educação, FAE e Bloco H Instituto de Ciências Biológicas, ICB. Esses prédios foram selecionados para a análise por utilizarem diferentes tecnologias construtivas e por exigirem ajustes para a aplicação do Metamodelo.

Vale ressaltar que esses estudos de caso foram escolhidos para análise devido a diferença de volumetria e formato, além da utilização de materiais construtivos diversificados.

Para avaliar o PHOCT das edificações do Grupo 1, foi utilizado o Metamodelo. Como a pesquisa foi realizada em 2022, antes da publicação da Portaria nº 309/2022 da INI-C, adotaram-se os valores de 14,1 W/m² e 23,8 W/m² para a densidade de potência instalada em áreas de permanência transitória e prolongada, respectivamente, conforme recomendado pela Portaria do INMETRO nº 248, de 10 de julho de 2018 (BRASIL, 2018), conforme demonstrado no Quadro 2, a seguir:

Quadro 2: Dados de entrada fixados pela Portaria INMETRO nº 248/2018

Dados de entrada	Unidade	Valores fixos
Medida da combinação entre a densidade de potência de iluminação e de equipamentos das salas de permanência prolongada	W/m ² .K	Escola – 23,8 Escritório - 25
Medida da combinação entre a densidade de potência de iluminação e de equipamentos das áreas de permanência transitória (corredores e escadas)	W/m ² .K	Escola – 14,1 Escritório - 15
Densidade de ocupação	ocup./m ²	Escola – 0,667 Escritório - 0,1

Fonte: Brasil (2018).

O arquivo climático de Belo Horizonte INMET 2012 foi usado para todas as avaliações por ser o arquivo usado pelo metamodelo de ventilação natural. Além disso, também foi considerada a presença de ventiladores de teto com velocidade do ar de 0,35m/s em todas as edificações de análise.

Quadro 3: Dados de entrada relativos ao arquivo climático INMET para Belo Horizonte utilizados no método simplificado.

Dados de entrada		Unidade	Valor
1	Temperatura média externa anual (Tar)	°C	21,8
2	Média anual das dif. entre as temp. máx. e mín. diária (TarMD)	°C	9,4
3	Dif. entre o valor máx. e mín. das temp. externas anuais (TarMA)	°C	13,6
4	Graus-dia de arrefecimento para temp. base de 18°C (CDD18)	K.dia	1483
5	Graus-dia de arrefecimento para temp. base de 25°C (CDD25)	K.dia	164
6	Média anual da radiação solar direta normal (MRDR)	W/m ²	95
7	Média anual da radiação solar difusa no plano horizontal (MRDH)	W/m ²	91
8	Velocidade média do ar externo anual (VMV)	m/s	2,2
9	Altitude	m	869

Por último, outra variável utilizada é o horário de funcionamento das edificações. Neste caso, foi necessário realizar uma adequação, visto que o Metamodelo possui um limite das 06h00 às 22h00, enquanto o real horário de funcionamento dos blocos é das 7h30 às 22h45. Dessa forma, foi necessário considerar o horário das 8h00 às 22h00.

Diante de um maior detalhamento dos dados na interface do programa Python e da possibilidade de se avaliar mais de uma edificação simultaneamente, este programa foi escolhido para a avaliação dos blocos do Grupo 1 ao invés da interface web do INI-C. Isso se justifica porque a interface web, não permite visualizar os parâmetros climáticos utilizados - o usuário apenas seleciona a cidade, sem saber de qual arquivo climático os dados foram extraídos. Já na interface Python, é necessário inserir manualmente os nove parâmetros que compõem o arquivo climático escolhido, proporcionando maior precisão nos resultados.

2.2 Ampliação de aplicabilidade do Metamodelo

De modo a atestar a viabilidade de ampliação do Metamodelo, as seguintes edificações do Grupo 2 foram selecionadas para avaliação termoenergética: Anexo Dança da Escola de Belas Artes, Bloco H do Instituto de Ciências Biológicas e Bloco 2 da Faculdade de Educação.

Ao serem analisadas pelo método simplificado, essas edificações tiveram seus parâmetros ajustados devido a alguns impedimentos do Metamodelo, conforme Quadro 4:

Quadro 4: Parâmetros ajustados para utilização do Metamodelo

Edificação	Parâmetro	Real	Ajustado	Motivo
Anexo Dança - EBA	Pé direito	3,75m	3,19m	Limite de 16m de altura total
	Potência instalada nas APP	39,9 W/ m ²	25,0 W/m ²	Limite de 25 W/m ²
	Largura	10,62m	12,73m	Formato não retangular
Bloco H - ICB	Capacitância térmica da cobertura	457,9 kJ/m ² .K	400,0 kJ/m ² .K	Limite de 400,0 kJ/m ² .K
	Número de andares	4	4 e 3	Primeiro pavimento é pilotis
Bloco 2 - FAE	Comprimento	108,6m	102,8m	Relação comprimento x largura
	Largura	24,4m	25,7m	Relação comprimento x largura
	Pé direito	Variável	3,1m	Deve ser inserido apenas um valor de pé direito
	Absortância da cobertura	0,85	0,80	Limite de 0,8

Ressalta-se que nenhuma edificação atendeu ao requisito “variação de área de até 10% entre as salas e espaço das APPs (Ambiente de Permanência Prolongada), por esse motivo essa exigência foi ignorada.

A partir de um modelo do Sketchup Make 2017, e do plug-in Euclid 0.9.3, as edificações foram produzidas tridimensionalmente para avaliar se as adequações realizadas para a utilização do Metamodelo foram significativas para o resultado do PHOCt.

Após a finalização da volumetria, é necessário incorporar dados no modelo, como características físicas dos materiais utilizados, ocupação e equipamentos dos ambientes, além das rotinas de iluminação e de aberturas de janelas e portas. Nas figuras a seguir é possível comparar as volumetrias das imagens satélites das edificações e seu respectivo modelo 3D.

Figura 3: Imagem aérea Bloco 2 da FAE



Figura 4: Modelo 3D Bloco 2 da FAE

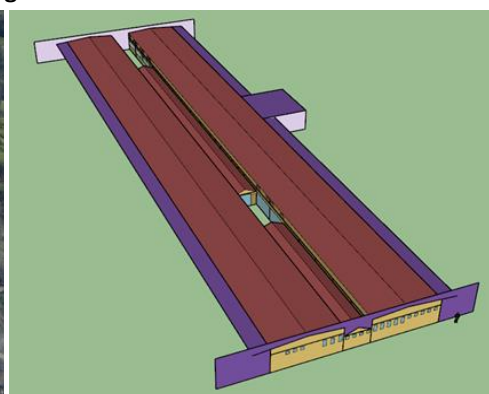


Figura 5: Imagem aérea Anexo Dança da EBA



Figura 6: Modelo 3D Anexo Dança da EBA

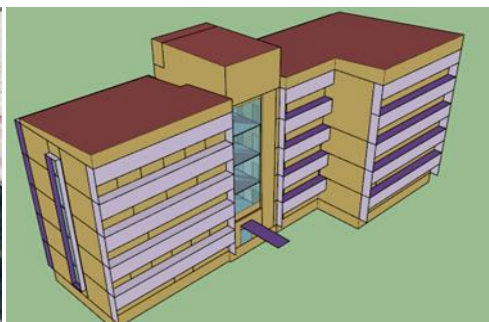


Figura 7: Imagem aérea ICB

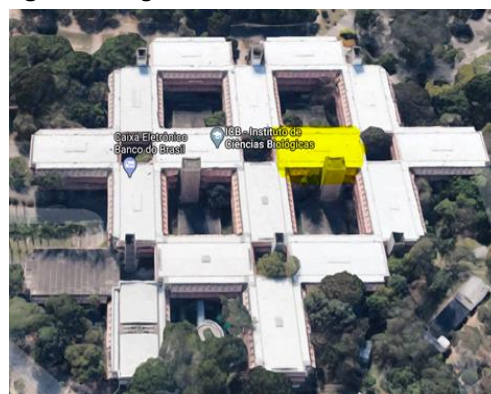
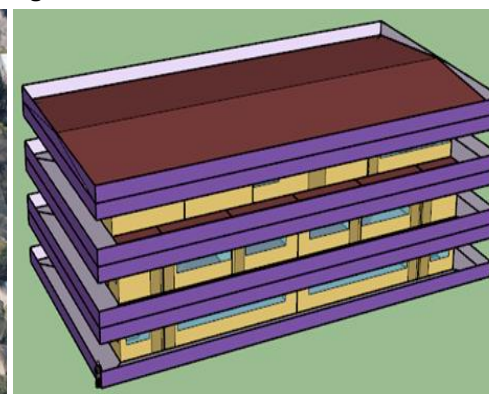


Figura 8: Modelo 3D ICB



Já no Quadro 5 são demonstradas as características das edificações simuladas que trouxeram como resultado dados de temperatura para cada um dos ambientes analisados para cada período do ano.

Quadro 5: Características das edificações simuladas.

	Edificação		
	Bloco 2 - FAE	Bloco H - ICB	Anexo Dança - EBA
Transmitância das paredes externas (W/m ² .K)	Esquadria de alumínio com placa cimentícia e alvenaria 5,54 e 1,85	Alvenaria 1,85	Alvenaria 1,85
Transmitância da cobertura (W/m ² .K)	Telhado de amianto e forro PVC 1,76	Laje, impermeabilização, isolamento e telha sanduíche 0,56	Laje, impermeabilização e telha metálica 1,87
Área	2600 m ²	2880 m ²	1680 m ²
No de andares	1	5	4
Altura total	3,1 m	18,8 m	16,0 m
Tipo de uso	Salas de aula, biblioteca e administrativo	Gabinetes, biblioteca, salas de dança e administrativo	Sala de aula e sala de seminários
Cores e absorvância das paredes	Branca 0,2	Amarela e branca 0,2 e 0,3	Branca 0,2
Concepção	-	2010	1968-1969
Inauguração	1965	Em licitação	1973

Fonte: Adaptado do Departamento de Planejamento e Projetos (2020).

2.3 Análise de dados

Foi realizada uma análise dos resultados, com o objetivo de avaliar os níveis de conforto das edificações do campus Pampulha da UFMG, focando na relação dessas edificações com o potencial de conforto do clima local. Para isso, utilizou-se o índice PHOCt, que mede a porcentagem de horas ao longo do ano em que as edificações estão em condições de conforto térmico. O principal intuito dessa análise foi verificar em que medida as edificações aproveitam o potencial climático natural, promovendo ambientes agradáveis sem a necessidade de sistemas de condicionamento artificial.

Nessa avaliação, adotaram-se critérios baseados em legislações e normas pertinentes, especialmente o modelo de conforto adaptativo da ASHRAE 55, de 2017, que define as zonas de conforto térmico em ambientes naturalmente ventilados. Assim, edificações com PHOCt elevado indicam maior eficiência no uso do clima e maior potencial de sustentabilidade.

A análise do aproveitamento do potencial de conforto também considerou a relação entre o valor do PHOCt e as características ambientais de cada edificação, buscando identificar aquelas que podem ser otimizadas para aproveitar melhor as condições climáticas e proporcionar maior conforto térmico aos usuários. Além disso, foi avaliada a economia de tempo oferecida pelo método simplificado em relação à simulação termoenergética, que é mais complexa e demorada.

Para as edificações com potencial de aproveitamento do conforto climático, compararam-se os resultados de PHOCt obtidos pelo método simplificado com os valores calculados pelo software Climate Consultant, visando validar a efetividade do método.

No que diz respeito às vantagens e limitações do Metamodelo em comparação à simulação, verificou-se a abrangência do método simplificado em relação aos parâmetros de entrada do Metamodelo, identificando os limites de sua aplicabilidade.

Ao fazer uma avaliação da economia do tempo do Metamodelo na simulação foram feitas algumas observações pertinentes. Nesta pesquisa foi verificado que com o Metamodelo foi preciso 29 parâmetros da edificação e do entorno para a determinação do PHOCt. Ao fazer uma comparação com a simulação termoenergética, seria necessário fazer um projeto 3D, rotinas de ocupação de cada ambiente, consumo energético dos equipamentos utilizados em cada cômodo e um levantamento das propriedades dos materiais que foram utilizados na construção das edificações da UFMG. Após a inserção dos dados de entrada é feita a simulação termoenergética e os resultados encontrados precisam ser tratados e analisados. Diante da análise anterior feita, a avaliação do método simplificado será mais rápida em relação a simulação termoenergética devido às etapas do processo. Verificou-se que a simulação demanda mais de 10 vezes o tempo necessário para a análise em relação ao Metamodelo.

Foi, ainda, avaliado o desvio entre os resultados do PHOCt obtidos pelo Metamodelo e pela simulação, considerando especialmente as edificações do Grupo 2. Essa comparação buscou validar o método simplificado diante do procedimento convencional, incluindo exemplos de plantas com configurações variadas, como prédios não retangulares, com pilotis ou proporções específicas, que apresentam variações nos parâmetros de entrada.

3 Resultados

Os principais resultados obtidos nesta pesquisa referem-se à verificação da aplicabilidade do método simplificado para análise de ventilação natural, proposto na INI-C, e ao desenvolvimento de uma proposta de simplificação das volumetrias, com o objetivo de viabilizar a aplicação do metamodelo. Para isso, utilizou-se como amostra o levantamento do conjunto de edificações do Campus UFMG. A pertinência das propostas foi avaliada por meio da comparação com os resultados de simulações computacionais.

De acordo com a aplicabilidade do Metamodelo proposto por Rackes, Melo e Lamberts (2016), 16% dos blocos se enquadram no grupo de aplicáveis, 61% ao grupo de aplicáveis com a realização de ajustes e 23% ao grupo de edificações não aplicáveis (Medeiros, 2021). Os motivos da restrição na aplicação do método simplificado proposto pela INI-C são: formato não retangular, presença de aberturas zenitais; edificação sobre pilotis; pavimentos diferentes entre si, comprimento da edificação ou bloco maior do que quatro vezes a sua largura, presença de vazios no interior da edificação ou bloco; edificação com mais de cinco andares, edificação com presença de subsolo, pé direito varia ao longo do andar, comprimento da edificação ou bloco menor do que 13 m, ambientes com pé-direito duplo, altura total do prédio ultrapassa 16m, parte do prédio possui auditórios e presença de escadas externas (Medeiros, 2021).

3.1 Grupo 1 – Aplicação de metamodelo

Após a avaliação de 13 (treze) edificações do Grupo 1 pelo método simplificado, foram obtidos os valores de PHOCT, os quais variam entre 96,8% e 52,8%. Os resultados obtidos mostraram que existe uma grande diferença entre os níveis de conforto das edificações analisadas. Desta maneira foi obtido um panorama dos níveis de conforto das edificações da UFMG Campus Pampulha. Na Tabela 2, a seguir é demonstrado a estimativa das horas em desconforto por calor obtidos nesta simulação:

Tabela 2: Estimativa da fração de horas de desconto em relação às horas de ocupação obtida através do metamodelo para edificações do Grupo 1.

Edificação	FHdesc (%)	PHOCT considerado
ICB – Bloco B	30,4	69,6
ICB – Bloco C	47,1	52,9
ICB – Bloco E	46,6	53,4
ICB – Bloco F	43,9	56,1
ICB – Bloco I	38,8	61,2
ICB – Bloco L	35,5	64,5
ICB – Bloco M	19,1	80,9
ICB – Bloco P	3,2	96,8
ICB – Bloco Q	27,0	73,0
ENG-CPDE	5,5	94,5
VET – Bloco 13	47,8	52,2
PRA-DGA	6,9	93,1
EBA – Anexo Gravura	16,6	83,4

Fonte: Brasil (2018).

3.2 Grupo 2 – Ampliação da aplicabilidade do metamodelo

Os resultados apresentados para o Anexo de Dança da EBA, em relação a estimativa da fração de horas em desconforto por calor foram: FHdesc=10,9% e PHOCT= 89,1%. Nesse estudo não foi considerada a utilização de ventiladores de teto, sendo que a velocidade do ar Var=0 m/s. A justificativa da desconsideração de uso de ventiladores foi devido ao projeto não prever o equipamento.

No Bloco H do ICB houve a adequação dos pilotis, pois não se tem uma previsão no Metamodelo de como atuar no caso de edificações sobre pilotis. O edifício possui 4 andares e o primeiro é pilotis. Por esse motivo houve dois estudos, considerando o edifício com 3 andares e depois foi feito considerando 4 andares. A estimativa da fração de horas em desconforto por calor foram: Bloco H do ICB (3 andares) FHdesc=12,3% e PHOCT= 87,7%; Bloco H do ICB (4 andares) FHdesc=15,6% e PHOCT= 84,4%.

O Bloco 2 da FAE os resultados apresentados da estimativa da fração de horas em desconforto por calor: FHdesc=31,6% e PHOCT= 61,4%.

4 Análise dos Resultados

O Metamodelo proposto pela INI-C é um processo mais fácil e rápido em relação ao método de simulação, porém para ser de fato eficiente e incentivar o seu uso para a etiquetagem de edifícios naturalmente ventilados ou híbridos, é necessário aumentar sua abrangência. A alteração dos parâmetros dos edifícios para se adequarem a ferramenta pode ser uma alternativa.

O resultado do PHOCT das 13 (treze) edificações que podem ser avaliadas pelo Metamodelo sem a necessidade de ajustes teve grandes variações, entre 96,8% (ICB-Bloco P) e 52,2% (VET-Bloco 13). Essa diferença é justificável pelo fato da variação da área e do número de andares serem fatores de grande influência no desempenho térmico (Rackes et al. 2016).

De forma a ampliar a aplicabilidade do Metamodelo, foi necessário realizar ajustes nos dados de entrada, ocasionando em uma possibilidade de avaliar 63 edifícios dentro do Campus. Com as alterações, verificou-se que os resultados obtidos pelo Metamodelo são próximos aos obtidos pelo método de simulação. Essas simulações foram realizadas em três edifícios, sendo eles: Anexo Dança EBA, Bloco 2 da FAE e Bloco H do ICB.

Os resultados mostraram que, apesar de pequenas diferenças pontuais, o Metamodelo forneceu estimativas próximas às da simulação, especialmente em edificações cujas configurações estavam dentro dos limites de aplicabilidade do método simplificado. O desvio médio foi de aproximadamente -1,95%, indicando uma boa correlação entre os dois métodos.

Tabela 3: Comparação entre os valores de PHO_{Ct} obtidos pelo metamodelo e por simulação computacional.

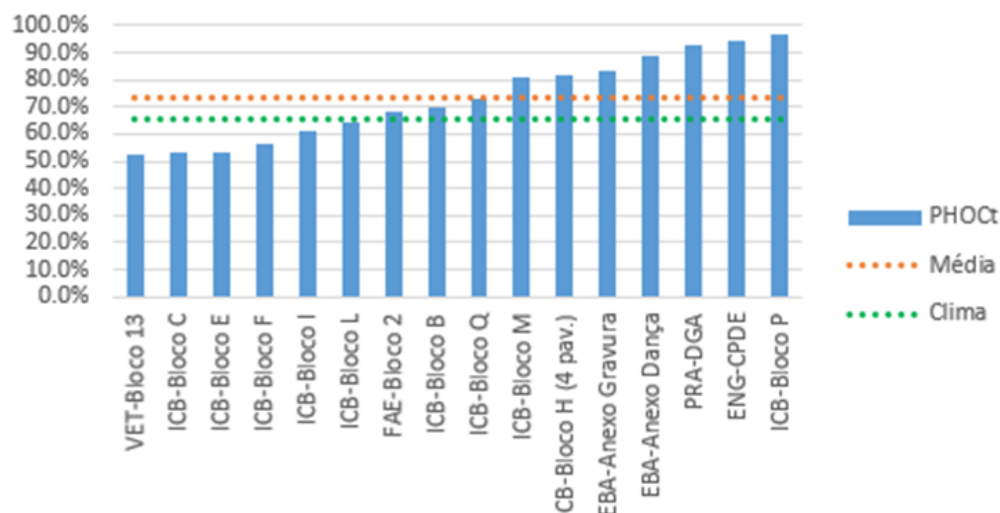
Edificação	PHO _{Ct} metamodelo	PHO _{Ct} simulação computacional	Diferença percentual
Anexo dança da EBA	89,1%	91,7%	-2,6%
Bloco H do ICB	87,7% (3 and.)	85,6%	2,1%
	84,4% (4 and.)		-1,6%
O Bloco 2 da FAE	68,4%	74,1%	-5,7%

Entretanto, para edificações com características mais extremas ou que extrapolam os limites do Metamodelo, o desvio tende a aumentar, refletindo as limitações inerentes ao método simplificado.

Essas análises demonstram que o potencial do Metamodelo para avaliação do conforto térmico de edificações é considerável, sobretudo quando seus limites de aplicação são respeitados.

A avaliação de 16 edificações apresentou uma variação grande nos níveis de conforto térmico, dessa forma na Figura 10 a seguir é possível visualizar que as edificações possuem um nível de conforto dentro do esperado, sendo 65,6% o valor esperado para o clima de Belo Horizonte, conforme indica o software Climate Consultant 6.0. Na imagem, é perceptível que 6 edificações se encontram abaixo dos níveis esperados.

Figura 10: Níveis de Conforto Térmico das edificações avaliadas do Campus Pampulha.



Por fim, vale ressaltar que a diferença de tempo de análise entre o método de simulação e o Metamodelo é um fator determinante para a escolha do método a ser utilizado. Enquanto o Metamodelo realizou a avaliação entre 2 a 3 horas, o método de simulação demandou 20 a 40 horas para cada edificação.

5 Considerações Finais

O presente estudo teve como objetivo verificar a aplicabilidade do Metamodelo no processo de etiquetagem tomando como objeto de análise as edificações do Campus Pampulha da Universidade Federal de Minas Gerais. Foram identificadas limitações do novo sistema avaliativo e proposto recomendações para ampliar o uso da ferramenta de avaliação do conforto térmico da INI-C.

Os resultados analisados mostraram que das 82 edificações avaliadas, apenas 13 delas podem ser avaliadas pelo método simplificado. As principais limitações que impedem a utilização do metamodelo são: variação de 10% da área das APP, pavimentos diferentes entre si, formato não retangular, relação comprimento x largura.

Dentre as limitações impostas na INI-C, a de se avaliar edificações pelo método simplificado apenas quando todos os seus ambientes de permanência prolongada possuem diferença de área de até 10% entre si deve ser retirada, visto que essa restrição inviabiliza a utilização do metamodelo. No estudo apenas uma edificação atendeu a este requisito.

A limitação imposta na INI-C de se avaliar edificações pelo método simplificado apenas quando todos os seus ambientes de permanência prolongada possuem diferença de área de até 10% entre si deve ser retirada, visto que essa restrição inviabiliza a utilização do Metamodelo. No estudo apenas uma edificação atendeu a este requisito.

A instrução normativa INI-C poderia, ainda, prover guias de adequação aceitáveis na modelagem das edificações, para que os parâmetros pudessem ser inseridos dentro do range do Metamodelo, estendendo sua aplicação e assim promovendo a utilização de edificações naturalmente ventiladas. Nessa pesquisa foram apresentadas sugestões de adequações em três edificações do Grupo 2, tanto na volumetria, ou seja, pé direito, comprimento e largura dos blocos, quanto em características térmicas dos elementos construtivos e de potências dos equipamentos, devido aos limites estabelecidos pela INI-C para a aplicação do método simplificado. Os resultados apontam que mesmo com essas modificações, os valores de PHOCT obtidos pelo Metamodelo foram próximos aos gerados por simulação, com diferença máxima de 5,7%.

Portanto, vê-se que o método simplificado de avaliação de edificações naturalmente ventiladas é um método eficiente e ágil, mas de aplicação restrita devido às suas limitações. Para sua ampla implementação é necessário avaliar procedimentos para flexibilizar sua utilização e dessa forma facilitar o processo de etiquetagem de edificações no Brasil.

Referências

- ALMEIDA, R. M. S.; FREITAS, V. P. Indoor environmental quality of classrooms in Southern European climate. **Energy and Buildings**, v. 81, p 127-140, 2014. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.06.020>
- BÁEZ, M. G.; PADURA, A. B; HUELVA, M. M.; CHACARTEGUI, R., Natural ventilation systems in 21st-century for near zero energy school buildings, **Energy**, v. 137, p. 1186-1200, 2017. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.05.188>

BRASIL. Portaria n.º 248, de 10 de julho de 2018 - **Aperfeiçoamento do Regulamento Técnico da Qualidade para a Classe de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos**. Disponível online em: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC002520.pdf>

BRASIL. Lei n. 9991, de 24 de julho de 2000. **Dispõe sobre realização em investimento em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica, e dá outras providências**. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2019/decreto/D9991.htm. Acesso em 16 jul. 24

BRASIL. Lei n. 10.295, de 17 de outubro de 2001. **Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências**. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ano 138, n. 200, p. 1, 18 out. 2001. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/qualidade/pdf/lei10295.pdf>. Acesso em 16 jul. 24

BRASIL. Portaria Inmetro nº 372, de 17 de setembro de 2010. **Aprovar a revisão dos Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ) por “BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2023 – Ano base 2022: Relatório Final. Rio de Janeiro, 2023**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2021>.

BRASIL. Portaria n.º 299, de 19 de junho de 2013. **Aperfeiçoamento do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C)**. Diário Oficial da União de 19 de junho de 2013, seção 01, páginas 79 e 80.

BRASIL. Portaria n.º 248, de 10 de julho de 2018 - **Proposta de texto da Portaria Definitiva referente ao Regulamento Técnico da Qualidade para a Classe de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos**. Diário Oficial da União de 12 de julho de 2018, seção 01, página 335. Disponível online em: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC002520.pdf>

BRASIL. Portaria nº 42, de 24 de fevereiro de 2021a. **Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C)**. Diário Oficial da União: de 09 de março de 2021, seção 01, página 44. Disponível em: <http://sistema-sil.inmetro.gov.br/rtac/RTAC002989.pdf>

BRASIL. 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**. Diário Oficial da União: de 06 de setembro de 2022, seção 01, páginas 30 a 89.

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.

GARCIA, M.S.; SOUZA, R. V. G. SILVA, F. J. **Towards Health and Comfort: Architectural Design and Indoor Air Quality in Naturally Ventilated Classrooms**. In: Lecture Notes

- in Civil Engineering. 1ed.: Springer Nature Switzerland, 2024, v., p. 403-413. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-48461-2_36
- GARCIA, M. S. ; SOUZA, R. V. G. ; OLIVEIRA, I. C. F. ; REIS, I. A. . Eficiência energética e conforto térmico em edifícios universitários: a importância de uma perspectiva integrada para a adaptação aos novos tempos. **Revista da Universidade Federal de Minas Gerais**, v. 28, p. 149-179, 2021. Doi: <https://doi.org/10.35699/2316-770X.2021.26714>
- HENSEN J. L. M., LAMBERTS, R. (Ed.). **Building performance simulation for design and operation**. London: Routledge, 2011.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, IEA. **Energy intensity – SDG7: Data and Projections – Analysis** -, (n.d.). <https://www.iea.org/reports/sdg7-data-and-projections/energy-intensity>. Acesso em 17/07/2024.
- MEDEIROS, H. G. **Método simplificado de avaliação de conforto térmico para ambientes ventilados naturalmente ou híbridos do INI-C: desempenho e limitações**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável) - Universidade Federal de Minas Gerais, 2022.
- MEDEIROS, M. M. X. DE L., SOUSA, L. L. DE L.. **Análise de uso de softwares de simulação termoenergéticas em edificações**. Trabalho de conclusão de curso Bacharelado em Ciência e Tecnologia. Universidade Federal do Semiárido Ufersa campus Mossoró-RN, 2019.
- MEUSEL, M. D. Z. V.; WESTPHAL, F.. **Barreiras para a introdução de simulação computacional à prática de projeto arquitetônico: O caso de um edifício institucional em Curitiba-PR**. In: ENCAC 2017. Balneário Camboriú, 2017.
- MORAWSKA, L.; MILTON, D. K., **It is time to address airborne transmission of COVID-19**. Clinical Infectious Diseases, ciaa939, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1093/cid/ciaa939>
- MOSTAFAZADEH, F., EIRDMOUSA, S. J., TAVAKOLAN, M.. Energy, economic and comfort optimization of building retrofits considering climate change: a simulate-based NSGA-III approach. **Energy and Buildings**, vol. 280, 2023, 112721, Elsevier. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112721>
- PBE EDIFICA. Sobre o PBE Edifica. Disponível em <https://pbeedifica.com.br/sobre> Acesso em 17/07/2024.
- PRABHAKAR; M., SAFFARI, M., GRACIA, A. DE, CABEZA, L. F.. Improving the energy efficiency of passive PCM system using controlled natural ventilation. **Energy and Buildings**, vol. 228, december 2020, 110483, Elsevier. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110483>
- PUTEH, M.; IBRAHIM, H. M.; ADNAN, M.; CHEAHMAD, C. N.; NOH, N. M. Thermal comfort in classroom: constraints and issues. **Procedia Social Behavior Science**, n. 46, p. 1834-1838, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.05.388>
- PROCELINFO. PROCEL Edifica – **Eficiência energética nas edificações**. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/data/Pages/LUMIS623FE2A5ITEMIDC46E0FFDBD124A0197D2587926254722LUMISADMIN1PTBRIE.htm> 2021. Acesso em: 9 de julho de 2024.

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. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.04.081>

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS (UFMG). **Protocolo de Biossegurança e Adequação do Espaço Físico na UFMG**. 2020. Disponível em: https://ufmg.br/storage/b/d/4/b/bd4b2cf83ed9619099eff5a389184f7a_16020949808844_1676750974.pdf.

VELOSO, A. C. O., ANDRADE FILHO, C. R., SOUZA, R. V. G. The Potential of Mixed-Mode Ventilation in Office Buildings in Mild Temperate Climates: An Energy Benchmarking Analysis. **Energy and Buildings**, vol. 297, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113445>

WONG I. L., KRÜGER, E. Comparing energy efficiency labelling systems in the EUA and Brazil: implications, challenges, barriers and opportunities. **Energy Policy** v. 109, p. 310 – 323, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.07.005>