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

Envelhecimento de sistemas de coberturas e seu impacto no desempenho térmico

Aging of roofing systems and its impact on the thermal performance

Fernando Sá Cavalcanti
Universidade Federal de Alagoas | Maceió-AL | Brasil | fernando.antonio@fau.ufal.br
Yasmim Melo Paes
Universidade Federal de Alagoas | Maceió-AL | Brasil | yasmim.paes@ceca.ufal.br
Anne Carolyne dos Santos Oliveira
Universidade Federal de Alagoas | Maceió-AL | Brasil | anne.oliveira@fau.ufal.br
Isabela Cristina da Silva Passos Tibúrcio
Universidade Federal de Alagoas | Maceió-AL | Brasil | isabela.tiburcio@ceca.ufal.br
Leonardo Marques Monteiro
Universidade de São Paulo | São Paulo-SP | Brasil | leo4mm@usp.br

Resumo

Este artigo avaliou o desempenho térmico de dois sistemas de coberturas para uma edificação multifamiliar considerando os procedimentos recomendados pela NBR-15575. Esta análise se deu para as oito zonas bioclimáticas brasileiras observando o percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa e temperaturas operativas mínimas e máximas (PHFTUH Tomín e Tomáx) para uma edificação padrão, com telhas cerâmicas e o modelo com telha de fibrocimento, levando em consideração o envelhecimento destes sistemas para três anos de uso conforme recomendação teórica. Este estudo visa compreender o desempenho térmico de uma edificação padrão, considerando uso e ação das intempéries e foi realizado por meio de simulações computacionais utilizando o software EnergyPlus. Os resultados apontam que o uso de telhas de fibrocimento não afeta significativamente o desempenho térmico das edificações na maioria das zonas bioclimáticas o que pode ser uma tendência de necessidade de revisão da NBR-15575 no que diz respeito ao modelo de referência e seus padrões de análise.

Palavras-chave: simulação computacional. desempenho térmico. telha cerâmica. telha de fibrocimento. Envelhecimento.

Abstract

This paper evaluated the thermal performance of two roofing systems for a multifamily building considering the procedures recommended by NBR-15575. This analysis was carried out for the eight Brazilian bioclimatic zones observing the percentage of occupied hours within the

Como citar:
CAVALCANTI, F. S. et. al. Envelhecimento de sistemas de coberturas e seu impacto no desempenho térmico. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

operating temperature range and minimum and maximum operating temperatures (PHFTUH Tomín and Tomáx) for a standard building, with ceramic tiles and the model with fiber cement tiles, taking into account the aging of these systems for three years of use according to theoretical recommendations. This study aims to understand the thermal performance of a standard building, considering use and action of the weather and was carried out through computer simulations using the EnergyPlus software. The results indicate that the use of fiber cement tiles does not significantly affect the thermal performance of buildings in most bioclimatic zones, which may be a trend towards the need to review NBR-15575 with regard to the reference model and its analysis standards.

Keywords: computer simulation. thermal performance. ceramic roof tile. fiber cement tile. Aging

INTRODUÇÃO

O Brasil vem passando por uma transformação urbana e consequentemente, arquitetônica desde a criação do programa “Minha Casa, Minha Vida” (PMCMV), posteriormente transformado em “Casa Verde e Amarela” (CVA) e retornando à sua denominação original em 2023, gerido pelo Governo Federal e destinado às famílias com baixa renda [1][2][3] com a produção de habitações em grande escala pela indústria da construção civil.

Considerando principalmente a viabilidade financeira e racionalização de sistemas construtivos em habitações de interesse social e de mercado popular, frequentemente se observa o uso de um modelo de edificação padrão, com sistemas construtivos que reduzam custos e prazos da obra, podendo comprometer o desempenho térmico, quando aplicado nos diversos climas e zonas bioclimáticas brasileiras [4][5] e em muitos casos, a satisfação do usuário [6][7].

Com a revisão da NBR-15575 [8], o processo de avaliação do desempenho térmico foi aprimorado e nela estão apresentados dois processos para a avaliação do desempenho térmico: o método simplificado e por simulação computacional, sendo o segundo método o mais utilizado em virtude da diversidade de materiais e técnicas construtivas adotadas para este tipo de edificações, tendo se mostrado como o procedimento mais indicado para a avaliação do desempenho térmico em uma edificação [9].

No que diz respeito aos sistemas de coberturas, diversos estudos já avaliaram o seu desempenho térmico [10][11][12][13] e identificaram sua influência no desempenho térmico da edificação como um todo, principalmente em edificações térreas. Segundo [13] o desempenho térmico das coberturas é influenciado pelas características dos elementos que compõem o telhado, por exemplo, tipo de telhas, cor da superfície externa, emissividade e ventilação existente no ático.

Ao analisar as zonas bioclimáticas 01, 03 e 08,[14] observaram que a absortância das envoltórias, incluindo a cobertura influenciou significativamente o conforto térmico dos usuários e o aumento da carga térmica interna das edificações, recomendando a utilização de absortâncias menores para zonas bioclimáticas mais quentes e maiores para zonas bioclimáticas mais frias.

Em geral, as análises de desempenho térmico de edificações são realizadas na fase de projeto, considerando as propriedades termofísicas dos materiais tabeladas pelos fabricantes ou por ensaio laboratorial que fornecem em geral estes dados para materiais novos, no entanto, ao longo da vida útil de projeto, estas características podem ser alteradas, principalmente a absortância dos materiais em virtude da exposição às intempéries e outras variáveis que influenciam no envelhecimento [15].

No caso do telhamento, diversos fatores afetam o seu processo de envelhecimento, como os gases atmosféricos, poluentes transportados para uma superfície podendo

provocar oxidação e corrosão, além do crescimento biológico, como proliferação de fungos, cianobactérias ou outros microrganismos [16].

Para o envelhecimento de sistemas de coberturas e variação da absortância destas superfícies, diversos estudos estão sendo realizados no Brasil, como o caso de [17] que produziram uma estação de envelhecimento natural para avaliação dos efeitos da degradação da absortância solar ao longo do tempo sobre o desempenho térmico de telhas e avaliaram os resultados ao longo de 24 meses de exposição e assim como outros estudos, comprovaram que a exposição de coberturas às intempéries altera as características iniciais de absorção dos materiais, além da modificação de cor, perda de brilho, empolamento, entre outras propriedades dessas superfícies [18] [19] [20].

Diversos estudos também trataram do envelhecimento de telhas e sua relação com a variação da absortância solar fora do Brasil [21] [22] 23], como o trabalho de [24] quando observaram que a refletância solar e a emitância térmica de uma superfície exposta ao meio externo podem variar ao longo do tempo em decorrência do envelhecimento, intemperismo e sujeira. Esta alteração foi verificada de forma mais evidente na refletância e absortância das superfícies.

O processo de envelhecimento das telhas afeta diretamente o desempenho térmico de uma edificação e dependem da cor, acabamento e forma [25] pois a variação da absortância está relacionada à possibilidade de acúmulo de poeiras e sua capacidade de limpeza pela precipitação [23] [26].

De acordo com [27], podem contribuir para o envelhecimento das telhas: a luz (principalmente radiação UV), umidade, sujeira, poluição atmosférica e excesso de calor. Além disso, o crescimento microbiano, presença de chuvas ácidas, tempestades repentinas, condensação, vento, granizo, congelamento e descongelamento são fatores que também podem contribuir para este processo [28].

A NBR-15575 [8] apenas em sua revisão recente considerou o envelhecimento das superfícies da envoltória (incluindo as telhas) em sua avaliação de desempenho térmico e estabelece uma relação por meio da equação 1 para estimar a alteração da absortância solar após 3 anos de envelhecimento da superfície, utilizando a absortância solar da superfície nova como parâmetro de entrada da equação. Esta equação apresentou uma correlação alta (R^2=0,9346) em relação aos dados medidos aos 24 meses por [29].

$$\alpha_3 = 0{,}07 * (\alpha_0)^2 + 0{,}59 * \alpha_0 + 0{,}27 \qquad \text{Eq. 1}$$

Em relação a edificações multifamiliares, poucos estudos foram observados, o que torna este estudo necessário para a avaliação do desempenho térmico de habitações padrão no Brasil, {30] [31] realizou um estudo para esta tipologia, no entanto, considerando o envelhecimento de fachadas e neste caso, foi observado que principalmente para cores escuras, o envelhecimento das fachadas alterou significativamente o desempenho térmico das unidades habitacionais.

Diante destes aspectos, o objetivo deste artigo é investigar o desempenho térmico de uma edificação multifamiliar padrão com diferentes sistemas de coberturas e o impacto do envelhecimento das telhas nesta variável, caso não haja manutenção preventiva, conforme recomendado pela NBR-15575 [8].

MÉTODO

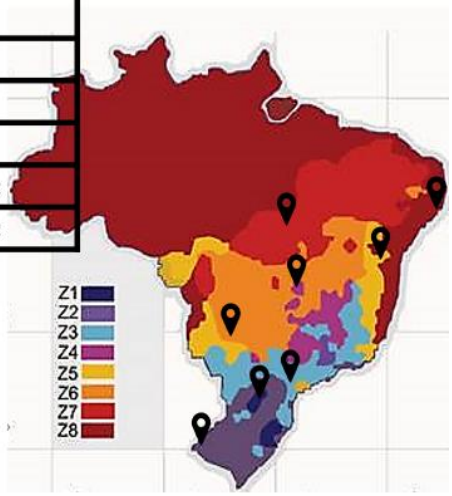
Para a realização deste trabalho, optou-se pelo procedimento de simulação computacional utilizando o *software EnergyPlus*® em sua versão 9,3 conforme a descrição a seguir.

CIDADES SIMULADAS

Foram selecionadas oito cidades brasileiras, uma em cada zona bioclimática estabelecida pela NBR-15220 [32]. Estas cidades foram escolhidas considerando a disponibilidade de arquivo climático com extensão .epw e sua localização geográfica, buscando englobar as cinco regiões brasileiras e tornar a amostra mais representativa para o território brasileiro. Os arquivos climáticos utilizados neste trabalho foram disponibilizados pelo LabEEE da UFSC e produzido a partir de dados do INMET. A figura 1 apresenta a localização destas cidades, indicando a zona bioclimática a qual cada uma delas pertence e o intervalo de temperatura estabelecido pela NBR-15575 [8].

Figura 1: Localização e indicação dos dados gerais das cidades simuladas.

CIDADES	ZB	INTERVALO DA NBR-15575
Curitiba - PR	01	1
Uruguaiana- RS	02	1
São Paulo - SP	03	1
Brasília - DF	04	1
Vitória da Conquista - BA	05	1
Campo Grande - MS	06	1
Palmas - TO	07	2
Maceió - AL	08	2



Fonte: os autores, adaptado de [8] [30].

GEOMETRIA DA EDIFICAÇÃO E PARÂMETROS DE SIMULAÇÃO

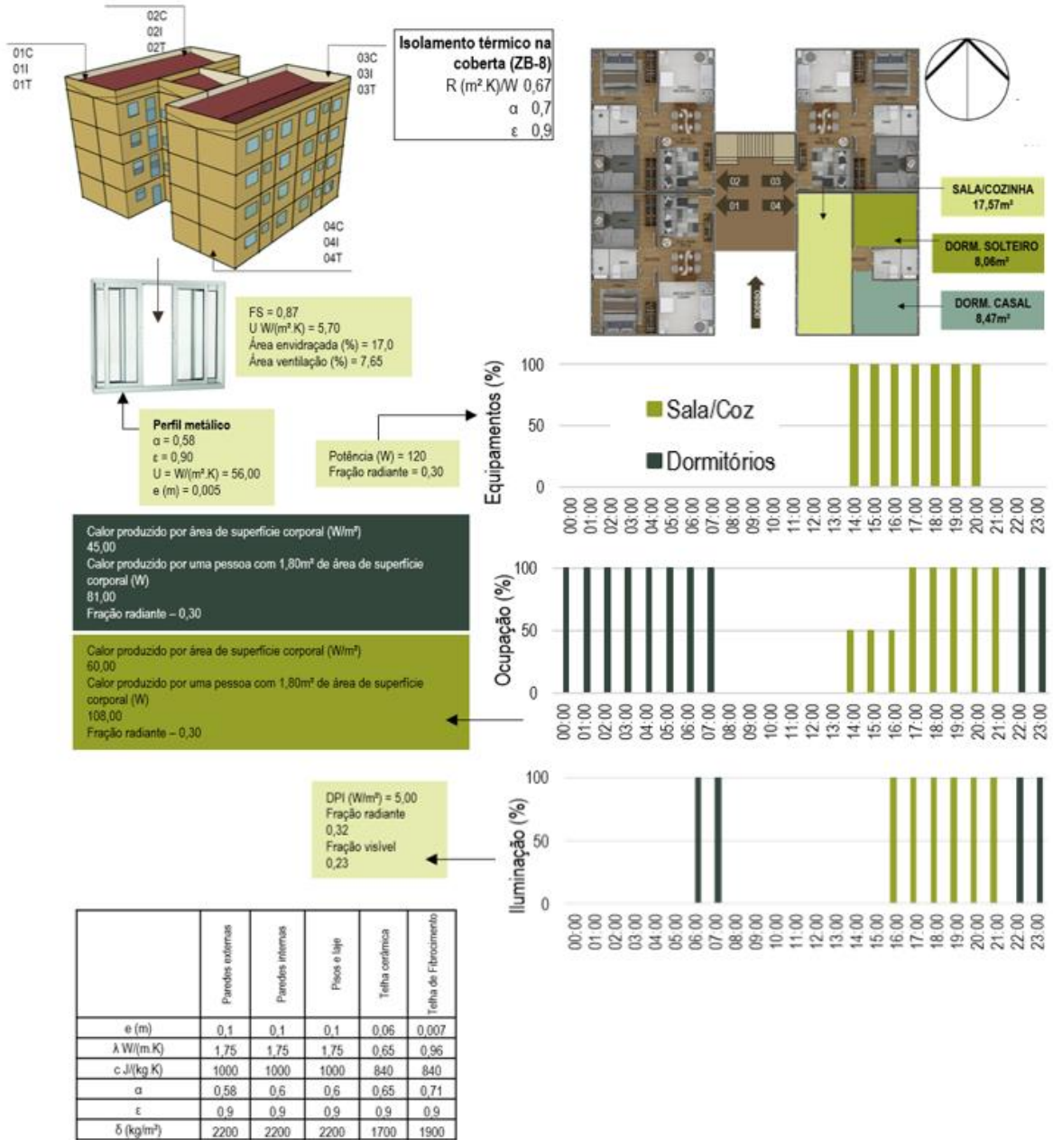
Para as simulações, foi atotada como padrão uma edificação multifamiliar projetada na tipologia “H” com 04 pavimentos (térreo, 02 pavimentos intermediários e um pavimento na cobertura) e 04 apartamentos por pavimento. As unidades habitacionais (UH) foram inseridas no bloco de modo espelhado e com as mesmas dimensões entre si.

Esta tipologia padrão é composta por UH com dois dormitórios, uma sala e cozinha integrados e um banheiro, com 41,85 m² de área total e 2,40 m de pé direito. Para este estudo, adotou-se a implantação em que as aberturas se encontram voltadas para o eixo leste-oeste, possibilitando investigar orientações distintas para a unidade padrão. Foram analisados 12 apartamentos, sendo 04 no pavimento térreo, 04 no segundo piso (aqui chamado de pavimento intermediário) e 04 no quarto piso (pavimento de

cobertura) em todas as orientações disponíveis no modelo. Os ambientes de permanência prolongada (APP) analisados neste estudo foram uma sala/cozinha com 17,57m² e dois dormitórios, sendo um de casal com 8,47m² e um de solteiro com 8,06m², conforme apresentado na figura 2 e cada um destes APP foi considerado como uma zona térmica a ser analisada.

A Figura 2 apresenta também o modelo padrão e suas características, que conforme recomendado, foi considerado no sistema de cobertura o uso de telha cerâmica e inserida uma manta de isolamento térmico apenas na zona bioclimática 8. Além deste modelo, foi considerado como "modelo real" uma edificação com as mesmas características da envoltória, alterando apenas o telhamento, que neste caso foi composto por telhas de fibrocimento.

Figura 2: Dados do modelo padrão e propriedades da telha de fibrocimento



	Paredes externas	Paredes internas	Pisos e laje	Telha cerâmica	Telha de Fibrocimento
e (m)	0,1	0,1	0,1	0,06	0,007
λ W/(m.K)	1,75	1,75	1,75	0,65	0,96
c J/(kg.K)	1000	1000	1000	840	840
α	0,58	0,6	0,6	0,65	0,71
ε	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
δ (kg/m³)	2200	2200	2200	1700	1900

Fonte: os autores, adaptado de [8].

A variação da absortância das telhas ocorreu conforme sugerido pela NBR-15575 e apresentado na equação 1 deste artigo. Para esta avaliação, utilizou-se a equação apresentada pela NBR-15575 e para a telha cerâmica, com α_0 = 0,65 foi obtido um α_3 = 0,683 o que representa um aumento de apenas 5% da absortância e para a telha de fibrocimento, com α_0 = 0,71 foi obtido um α_3 = 0,724; tendo um aumento de apenas 2% para esta propriedade.
Observa-se que para cores com absortâncias muito baixas ou muito altas, esta variação é mais significativa, no entanto quanto mais este valor de aproxima de 0,75 a influência do envelhecimento torna-se mais insignificante.

DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL E DE ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para o processo de simulação computacional utilizando o *software EnergyPlus*, foi modelagem da geometria da edificação no *software SketchUp V.2020* com o auxílio do *plugin OpenStudio* e em seguida os parâmetros foram alterados dentro do próprio *software* utilizado para as simulações.
Para a análise dos resultados, foram utilizados como dados de saída as temperaturas operativas para cada zona térmica, além dos padrões de ocupação, sendo possível investigar apenas as horas ocupadas em cada APP. Os critérios considerados na análise do desempenho destas UH foram o percentual de horas de ocupação dentro da faixa de temperatura operativa dos ambientes de permanência prolongada (PHFTAPP) e das Unidades Habitacionais (PHFTUH), além da temperatura operativa anual máxima (Tomáx) da UH. A TOmin não foi avaliada para as zonas bioclimáticas 05 a 08, conforme recomendação da NBR-15575.
Como parâmetro base, considerou-se o limite para cada UH, quanto avaliada em relação a TOmáx um ΔT de 2ºC acima da TOmáx do modelo padrão se estiver no pavimento de cobertura e 1ºC para os pavimentos térreo e intermediário. Já para a TOmin (avaliada para as zonas bioclimáticas 1 a 4, esta deve ser menor que o valor da TOmin obtida para o modelo padrão somada uma tolerância de 1ºC. Já para o PHFTUH, este valor deve ser no mínimo 90% do valor obtido para o PHFTUH(REF) que é o valor encontrado para o modelo padrão.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

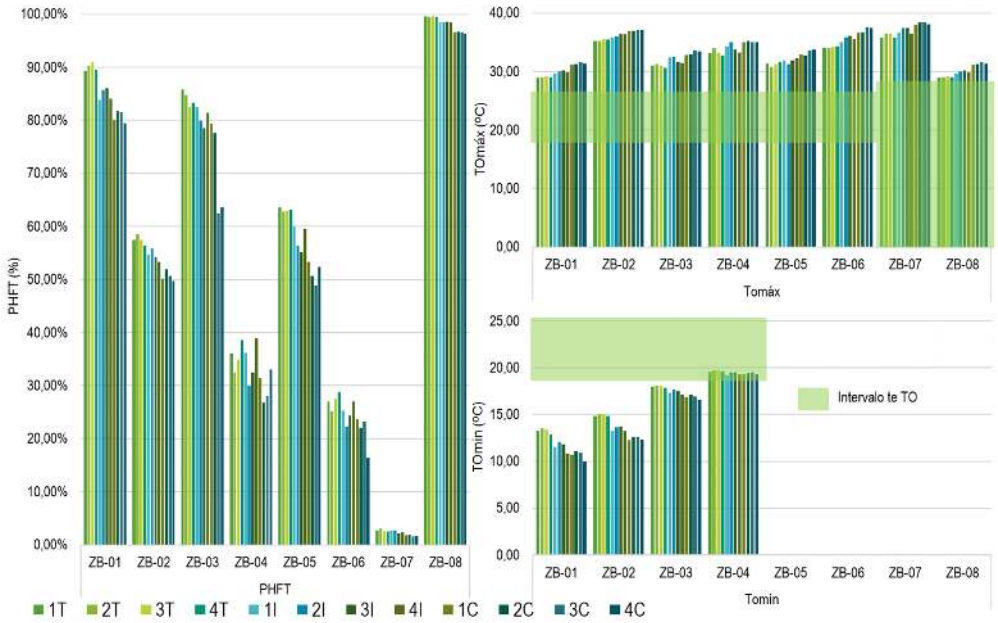
Os resultados obtidos por meio das simulações computacionais estão apresentados e discutidos a seguir a partir de um comparativo entre os modelos simulados e o modelo padrão.

MODELO PADRÃO

Para o modelo padrão, observa-se primeiramente a importância do isolamento térmico na coberta para a zona bioclimática 08, com PHFTUH acima de 90% para todas as UH, percentual superior aos obtidos nas demais zonas bioclimáticas, sendo as cidades de Palmas – TO e Campo Grande – MS as que apresentaram este percentual menor e em todos os casos as UH localizadas no térreo tiveram melhor desempenho que as UH localizadas nos pavimentos intermediários e por sua vez, obtiveram

desempenho térmico melhor que as UH localizadas no pavimento da cobertura (Figura 3).

Figura 3 – Dados para o PHFTUH, TOmáx e TOmin para o modelo padrão nas oito cidades analisadas.



Fonte: os autores.

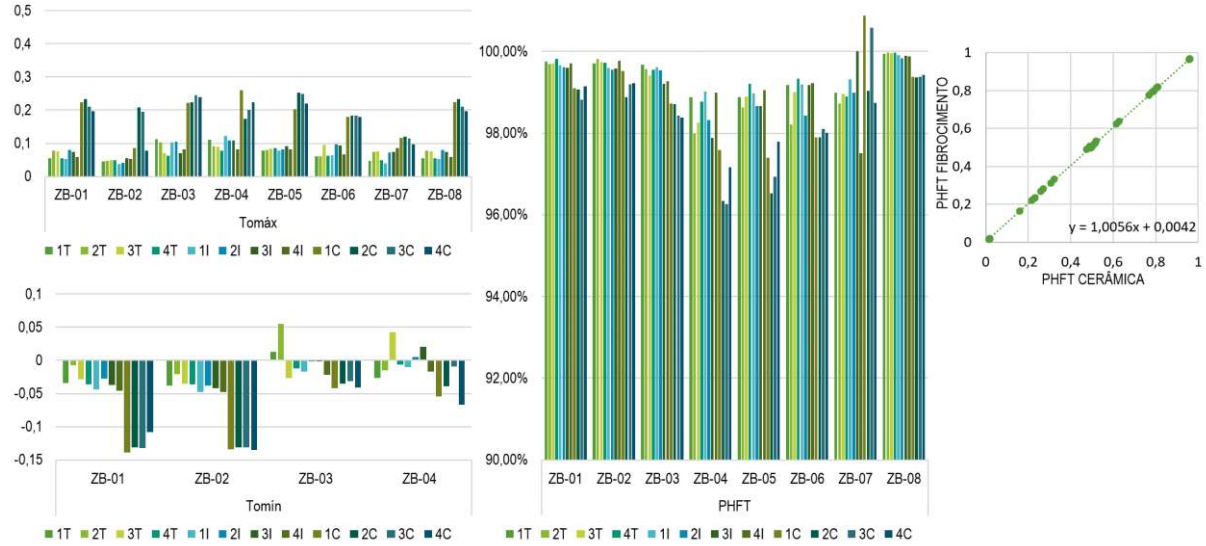
Esta figura apresenta também os dados para TOmáx e TOmin (esta última para as ZB-01 a 04) e é possível observar que a Tomín para a ZB-4 se encontra dentro da faixa recomendada, não havendo horas ocupadas com temperaturas abaixo de 18ºC, enquanto as demais ZB apresentam valores abaixo de 18ºC. A Tomáx apresentou valores mais elevados nas ZB-02, ZB-04, ZB-06 e ZB-07, zonas bioclimáticas que obtiveram menor PHFTUH.

Para a ZB-07, o PHFTUH obtido foi muito baixo, sempre abaixo de 5%, o que pode levar a questionar se o modelo de referência realmente deve ser utilizado nesta zona bioclimática que apresenta perfil de temperatura com TBS externa elevado ou se o modelo de referência adotado para a ZB-08 não deveria ser adotado para a ZB-07 também.

COMPARAÇÃO DA TELHA CERÂMICA (MODELO PADRÃO) COM A TELHA DE FIBROCIMENTO CONSIDERANDO MATERIAIS NOVOS

Ao comparar o modelo de referência com o modelo com telha de fibrocimento (sem manta térmica) foi possível observar que embora tenha ocorrido uma diferença de temperatura operativa (máxima e mínima, esta diferença não foi significativa. Estes valores não chegaram a 0,5ºC para mais ou para menos em nenhuma UH para nenhuma zona bioclimática e a variação do PHFT também foi mínima nos pavimentos térreo e intermediário (como já era o esperado, pois não houve alteração no modelo) e um pouco maior nas UH do pavimento da cobertura, no entanto em todos os casos, o modelo com telha de fibrocimento obteve PHFT maior que 90% quando comparado com o PHFT do modelo padrão (Figura 4).

Figura 4 – Dados para o PHFTUH, ΔTOmáx e ΔTOmin comparativo entre o modelo com telha de fibrocimento e o modelo padrão.



Fonte: os autores.

Esta variação mínima do PHFT pode ser observada pelo gráfico de dispersão apresentado também na figura 6 que apresenta os PHFTUH para as duas configurações avaliadas e a curva de tendência, com equação tendendo a y=x, tendo variação das constantes apenas a partir da quarta casa decimal, indicando a mínima variação entre estes valores.

Estes resultados indicam que o modelo de referência da NBR-15575 deve ser reconsiderado, pois considera a envoltória vertical como um sistema de concreto com 10 cm de espessura, que apresenta uma transmitância térmica (U=4,40W/m²K) acima do recomendado pelo método prescritivo, fazendo com que este sistema tenha grande influência no desempenho térmico das edificações, mesmo as UH localizadas nos pavimentos da cobertura. Com isto, a alteração apenas do tipo de telhamento não influenciou significativamente no desempenho térmico da edificação pelo método recomendado por esta normativa.

COMPARAÇÃO DO MODELO DE REFERÊNCIA COM AS TELHAS CERÂMICA E DE FIBROCIMENTO CONSIDERANDO O ENVELHECIMENTO DAS TELHAS

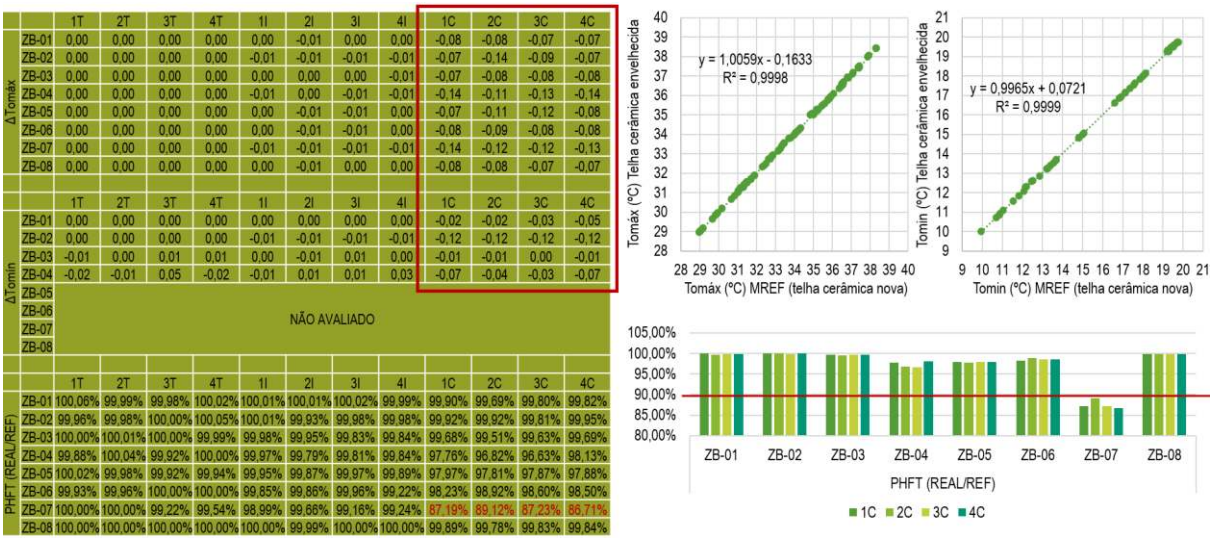
Ao avaliar o modelo com telha cerâmica envelhecida, constatou-se que a variação de temperatura operativa para as UH localizadas nos pavimentos térreo e intermediário foram insignificantes e como esperado, a alteração da coberta não afetou o desempenho nestes pavimentos.

No entanto, mesmo no pavimento da cobertura, esta variação não foi significativa, mantendo estas UH dentro do limite de PHFT para praticamente todos os casos, com exceção da zona bioclimática 07 que já apresentou um PHFT baixo no modelo padrão, sendo cada variação, por menor que seja representada por um percentual significativo.

Estes dados podem ser melhor visualizados na figura 5 que apresenta os dados de PHFTUH/REF, ΔTOmáx e ΔTOmin e a correlação entre o modelo padrão e o modelo

com telha cerâmica envelhecida para os dados de temperatura operativa, indicando esta baixa influência do envelhecimento das telhas.

Figura 5 – Dados para o PHFTUH, ΔTOmáx e ΔTOmin comparativo entre o modelo com telha cerâmica envelhecida e o modelo padrão.



ΔTomáx	1T	2T	3T	4T	1I	2I	3I	4I	1C	2C	3C	4C
ZB-01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,00	0,00	-0,08	-0,08	-0,07	-0,07
ZB-02	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,07	-0,14	-0,09	-0,07
ZB-03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01	-0,07	-0,08	-0,08	-0,08
ZB-04	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,00	-0,01	-0,01	-0,14	-0,11	-0,13	-0,14
ZB-05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01	-0,01	0,00	-0,07	-0,11	-0,12	-0,08
ZB-06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01	-0,01	0,00	-0,08	-0,09	-0,08	-0,08
ZB-07	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,14	-0,12	-0,12	-0,13
ZB-08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,00	0,00	-0,08	-0,08	-0,07	-0,07

ΔTomin	1T	2T	3T	4T	1I	2I	3I	4I	1C	2C	3C	4C
ZB-01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,02	-0,02	-0,03	-0,05
ZB-02	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12
ZB-03	-0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	-0,01	0,01	0,00	-0,01	-0,01	0,00	-0,01
ZB-04	-0,02	-0,01	0,05	-0,02	-0,01	0,01	0,01	0,03	-0,07	-0,04	-0,03	-0,07
ZB-05	NÃO AVALIADO											
ZB-06												
ZB-07												
ZB-08												

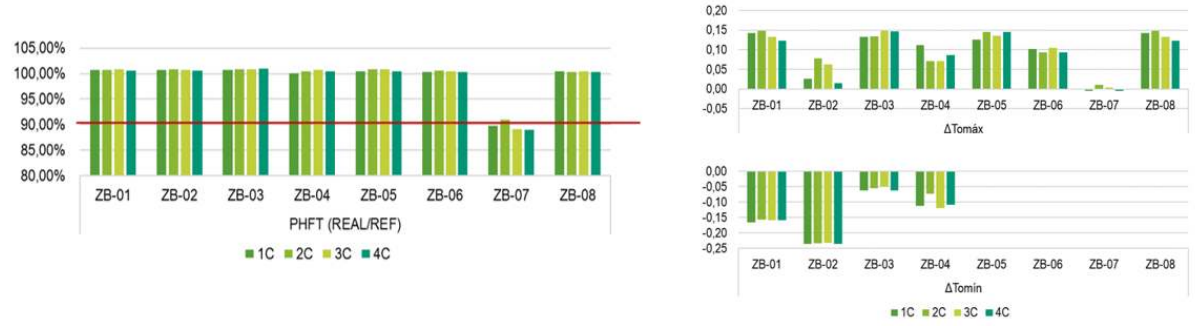
PHFT (REAL/REF)	1T	2T	3T	4T	1I	2I	3I	4I	1C	2C	3C	4C
ZB-01	100,06%	99,99%	99,98%	100,02%	100,01%	100,01%	100,02%	99,99%	99,90%	99,69%	99,80%	99,82%
ZB-02	99,96%	99,98%	100,00%	100,05%	100,01%	99,93%	99,98%	99,98%	99,92%	99,92%	99,81%	99,95%
ZB-03	100,00%	100,01%	100,00%	99,99%	99,98%	99,95%	99,83%	99,84%	99,68%	99,51%	99,63%	99,69%
ZB-04	99,88%	100,04%	99,92%	100,00%	99,97%	99,79%	99,81%	99,84%	97,76%	96,82%	96,63%	98,13%
ZB-05	100,02%	99,98%	99,92%	99,94%	99,95%	99,87%	99,97%	99,89%	97,97%	97,81%	97,87%	97,88%
ZB-06	99,93%	99,96%	100,00%	100,00%	99,85%	99,86%	99,96%	99,22%	98,23%	98,92%	98,60%	98,50%
ZB-07	100,00%	100,00%	99,22%	99,54%	98,99%	99,66%	99,16%	99,24%	87,19%	89,12%	87,23%	86,71%
ZB-08	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	99,99%	100,00%	100,00%	99,89%	99,78%	99,83%	99,84%

Fonte: os autores.

Este mesmo cenário ocorre com o envelhecimento da telha de fibrocimento, com uma variação da temperatura operativa para as UH localizadas no pavimento da cobertura abaixo de 0,5ºC provavelmente em virtude do ganho térmico pelas fachadas desta edificação.

Esta análise leva à discussão mais uma vez acerca do modelo de referência utilizado no método de simulação da NBR-15575. Os resultados para a variação das temperaturas operativas máximas e mínimas, além da relação entre o PHFT do modelo com telha de fibrocimento envelhecida e o modelo de referência estão apresentados na figura 6.

Figura 6 – Dados para o PHFTUH, ΔTOmáx e ΔTOmin comparativo entre o modelo com telha de fibrocimento envelhecida e o modelo de referência.



Fonte: os autores.

CONCLUSÕES

Este artigo avaliou o desempenho térmico de dois sistemas de coberturas (telha cerâmica e telha de fibrocimento) e o impacto do envelhecimento das telhas para uma

edificação multifamiliar na tipologia H com o objetivo de compreender a influência destes sistemas na avaliação do desempenho térmico proposto pela NBR-15575.

Observou-se que a variação do desempenho térmico entre o modelo padrão (com telha cerâmica) e o modelo com telha de fibrocimento foi mínima, o que garantiu que o segundo modelo obtivesse o desempenho mínimo em todas as zonas bioclimáticas, com valores muito próximos entre os dois casos analisados.

Este mesmo fato ocorreu após a inserção da variável do envelhecimento das telhas (para os dois casos), sendo que neste caso apenas a zona bioclimática 07 não atendeu ao desempenho mínimo. Estas simulações e o resultado obtido pelo modelo de referência contrariam diversos estudos que já demonstraram que o desempenho da telha de fibrocimento não equivale ao desempenho da telha cerâmica, além do impacto que o envelhecimento das telhas apresenta na variação da temperatura interna.

Observou-se também que para as absortâncias iniciais das telhas adotadas neste estudo, conforme a equação fornecida pela NBR-15575 não sofrem alteração significativa ao longo dos 3 anos iniciais, com uma variação entre 2% e 5%.

Esta constatação inicial pode levar a um uso indiscriminado de telhas de fibrocimento em edificações multifamiliares em decorrência de seu menor custo em relação à telha cerâmica (tanto material quanto mão de obra), além de apresentarem um tempo de execução mais reduzido, otimizando o processo de produção habitacional, no entanto, sem o devido cuidado com o desempenho térmico.

REFERÊNCIAS

[1] BRASIL. **Lei n. 12.424**, de 7 de julho de 2009, dispõe sobre o Programa Minha Casa Minha Vida - PMCMV e a regularização fundiária de assentamentos localizados em áreas urbanas. Diário Oficial da União, Brasília, 8 de julho de 2009.

[2] BRASIL. **Lei nº 14.118**, de 12 de janeiro de 2021, Institui o Programa Casa Verde e Amarela. Diário Oficial da União, Brasília, 12 de janeiro de 2021.

[3] BRASIL. **A Lei nº 14.620** de 13 de julho de 2023 dispõe sobre o Programa Minha Casa, Minha Vida, recriando a política pública federal. Diário Oficial da União, Brasília, 13 de julho de 2023.

[4] BARROS, Mercia; SABBATINI, F. H. **Diretrizes para o processo de projeto para a implantação de tecnologias construtivas racionalizadas na produção de edifícios**. São Paulo, EPUSP, 1996. 24p. (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT / PCC/172).

[5] ROMERO, M. A.; ORNSTEIN, S. W. **Avaliação Pós Ocupação. Métodos e Técnicas Aplicados à Habitação Social**. 1. ed. Porto Alegre: Coleção Habitare/FINEP/ANTAC, v. 1. 293 p. 2003.

[6] RUIZ, J. DE A.; GRANJA, A. D.; KOWALTOWSKI, D. Cost reallocation in social housing projects considering the desired values of end-users. **Built Environment Project and Asset Management**, v. 4, n. 4, p. 352-367, 2014. DOI: https://doi.org/10.1108/BEPAM-10-2013-0054

[7] TUBELO, R., RODRIGUES, L., GILLOTT, M., SOARES, J. C. G. Cost-effective envelope optimisation for social housing in Brazil's moderate climates zones. **Building and Environment**, v. 133, p. 213-227, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.01.038

[8] ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15575:** Edificações Habitacionais – Desempenho: Parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, 2021.

[9] SORGATO, M. J.; MELO, A. P.; MARINOSKI, D. L.; LAMBERTS, R. Análise do procedimento de simulação da NBR 15575 para avaliação do desempenho térmico de edificações residenciais. **Ambiente Construído**, v. 14, n. 4, p. 83 101, 2014.

[10] CAVALCANTI, Fernando Sá. Influência do forro no conforto térmico em habitação de interesse social. **Revista de Arquitetura IMED**, Passo Fundo, v. 11, n. 1, p. 71-92, out. 2022. ISSN 2318-1109. DOI: https://doi.org/10.18256/2318-1109.2022.v11i1.4619.

[11] COELHO, T. C. C.; GOMES, C. E. M.; DORNELLES, K. A. Desempenho térmico e absortância solar de telhas de fibrocimento sem amianto submetidas a diferentes processos de envelhecimento natural. **Ambiente Construído**, v. 17, p. 147-161, 2017.

[12] PARKER, D. S.; BARKASZI JR, S. F. Roof solar reflectance and cooling energy use: field research results from Florida. **Energy and Buildings**, v. 25, p. 105–115, 1997. DOI: https://doi.org/10.1016/S0378-7788(96)01000-6

[13] MICHELS, Caren. **Análise da transferência de calor em coberturas com barreiras radiantes** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

[14] CÂNDIDO, C. D.; DORNELLES, K. A.; LUKIANTCHUKI, M. A. Impacto da absortância no conforto térmico em três zonas bioclimáticas. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 14, n. 00, p. e023003, 2023. DOI: 10.20396/parc.v14i00.8668202.

[15] KRELLING, A. F; SILVA, M. P; SOUZA, R. V; MARINOSKI, D. L; GÜTS, S. Influência do envelhecimento, limpeza e pintura da superfície de telhas de fibrocimento sobre o desempenho térmico da cobertura. In: XV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído (ENCAC) e XI Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído (ELACAC). **Anais**. João Pessoa (PB). 2019.

[16] BERDAHL, P. et al. Weathering of Roofing Materials: an overview. **Construction and Building Materials**, v. 22, p. 423-433, 2008. DOI: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2006.10.015

[17] ARAÚJO, A. C. H.; DORNELLES, K. A. Estação de envelhecimento natural para análise de degradação da absortância de telhas e monitoramento de temperaturas superficiais. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 22, n. 2, p. 247-267, br./jun. 2022.

[18] BERDAHL, P.; BRETZ, S. E. Preliminary survey of the solar reflectance of cool roofing materials. **Energy Buildings**, v. 25, p. 149-158, 1997. DOI: https://doi.org/10.1016/S0378-7788(96)01004-3

[19] BRETZ, S.; AKBARI, H. Long-Term Performance of High-Albedo Roof Coatings. **Energy and Buildings**, v. 25, p. 159-167, 1997. DOI: https://doi.org/10.1016/S0378-7788(96)01005-5

[20] LEVINSON, R.; BERDAHL, P.; AKBARI, H. Solar Spectral Optical Properties of Pigments: part 1: model for deriving scattering and absorption coefficients from transmittance and reflectance measurements. **Solar Energy Materials & Solar Cells**, v. 89, p. 319-349, 2005. DOI: https://doi.org/10.1016/j.solmat.2004.11.012

[21] WERLE, A. P.; LOH, K.; JOHN, V. M. Pintura à Base de Cal Como alternativa de Revestimento Frio. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 3, p. 149-157, jul./set. 2014.

[22] TAKEBAYASHI, H.; MIKI, K.; SAKAI, K.; MURATA, Y.; MATSUMOTO, T.; WADA, S.; AOYAMA, T. Experimental examination of solar reflectance of high-reflectance paint in Japan with natural and accelerated aging. **Energy and Buildings**, v. 114, p. 173-179, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.06.019

[23] LOUZICH, K. M. D.; CALLEJAD, I. J. A.; DURANTE, L. C.; MARTINS, A. F. S.; ROSSETI, K. A. C.; MARTINS, W. T. O. Absortância de telhas cerâmicas novas e deterioradas pela exposição às intempéries: impacto no desempenho térmico de edificações. In: ENTAC, 16., 2016, São Paulo. **Anais**… São Paulo, 2016.

[24] SYNNEFA, A., SANTAMOURIS, M., APOSTOLAKIS, K. On the development, optical properties and thermal performance of cool colored coatings for the urban environment. **Solar Energy**. v. 81, p. 488-497, 2007. DOI: https://doi.org/10.1016/j.solener.2006.08.005

[25] ALCHAPAR, N; CORREA, E; CANTÓN, M. A; Urban passive cooling aging effects on optical proprerties of roof tiles. **Energy Procedia**. V.57, o.3181 – 3190, 2014. DOI: https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.06.068

[26] DORNELLES, K. A.; SICHIERI, E. P. Efeitos do Intemperismo Natural Sobre a Refletância de Tintas Brancas Para Coberturas. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 15., Maceió, 2014. **Anais**… Maceió: ANTAC, 2014. DOI: 10.17012/entac2014.770

[27] MORINI, E; CASTELLANI, B; NICOLINI, A. ROSSI, F; BERARDI, U. Effects of agging on retro-reflective materials for buildings aplications. **Solar Energy**. V.179, p, 121-132, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.09.013

[28] CHENG, M. D; MILLER, W; NEW, J; BERDAHL, P. Undestanding the long-therm effects of environmental exposure on roof reflectance in California. **Construction and Buinding Materials**. V.26, p. 516-526, 2012. DOI: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.06.052

[29] ARAUJO, Ana Carolina Hidalgo. **Absortância solar e o envelhecimento natural de telhas expostas ao tempo**. 2022. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2022.

[30] CAVALCANTI, Fernando Sá; MONTEIRO, Leonardo Marques. Projeto de edificações resilientes nas zonas bioclimáticas 1 a 4: impacto do envelhecimento das fachadas e mudanças climáticas no desempenho térmico. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DE PROJETO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8., 2023. **Anais** [...]. [S. l.], 2023. DOI: 10.46421/sbqp.v8i.3285.

[31] CAVALCANTI, Fernando Sá; MONTEIRO, Leonardo Marques. Desempenho térmico associado ao envelhecimento de fachadas em edificações multifamiliares nas zonas bioclimáticas 5 a 8. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2023. **Anais** [...]. [S. l.], 2023. p. 1–10. DOI: 10.46421/encac.v17i1.4180.

[32] ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15220–03**: Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.