



ENTAC 2024

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



Desempenho térmico de HIS: estudo comparativo com composições de materiais da envoltória

HIS thermal performance: comparative study with envelope material composition

Mariana Barros Varjal

Universidade Federal da Paraíba | João Pessoa | Brasil | marianavarjal@gmail.com

Alúcio Braz de Melo

Universidade Federal da Paraíba | João Pessoa | Brasil | aluisiobmelo@hotmail.com

Resumo

As habitações de interesse social [HIS] no Brasil, em geral, apresentam baixo desempenho térmico, o que acarreta uma série de problemas relativos à habitabilidade e à eficiência energética dessas edificações. Este artigo tem por objetivo avaliar, à luz da NBR 15575, o desempenho térmico dos materiais da envoltória de HIS localizadas na Zona Bioclimática 8, precisamente no litoral do Nordeste brasileiro. A ideia é analisar esse desempenho, visando a um maior nível de classificação, a partir de uma combinação de materiais mais utilizados nas práticas construtivas nacionais. Por meio de simulação com o *EnergyPlus*, determinou-se, inicialmente, o nível de desempenho térmico e, na sequência, foi desenvolvida a análise da variação dos materiais da envoltória. Constatou-se que o percentual de horas na faixa de temperatura operativa [PHFT] ficou abaixo do desejado e que há alta demanda por refrigeração mecânica. Destaca-se a influência da presença da manta de lã de rocha no sistema de cobertura na obtenção do nível intermediário de desempenho. Espera-se contribuir para as análises de desempenho térmico, sobretudo no contexto estudado.

Palavras-chave: Habitação de Interesse Social. Desempenho Térmico. Eficiência Energética. Simulação Computacional.

Abstract

Social housing [SHS] in Brazil generally has low thermal performance, which leads to a series of problems related to the habitability and energy efficiency of these buildings. This article aims to evaluate, in light of NBR 15575, the thermal performance of the envelope materials of SHS located in Bioclimatic Zone 8, precisely on the coast of Northeast Brazil. The idea is to analyze this performance aiming at a higher level of classification, based on a combination of materials most used in national construction practices. Through simulation with EnergyPlus, the level of thermal performance was initially determined and then the analysis of the variation of the envelope materials was developed. It was found that the percentage of hours in the operating temperature range [PHFT] was below the desired one and that there is a high demand for mechanical cooling. The influence of the presence of the rock wool blanket in the roofing system in obtaining the intermediate level of performance is highlighted. The aim is to contribute to the analysis of thermal performance, especially in the context studied.

Keywords: Social Housing. Thermal Performance. Energy Efficiency. Computer Simulation.



Como citar:

SOBRENOMEDO AUTOR, A. Template para a conferência ENTAC2024. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. *Anais...* Maceió: ANTAC, 2024.

1 INTRODUÇÃO

O desempenho térmico é um importante fator para a garantia da habitabilidade das Habitações de Interesse Social [HIS]. Apesar de sua importância, esse aspecto vem sendo menosprezado ao longo dos anos com projetos de arquitetura construídos em larga escala e de forma generalizada, onde, por vezes, as particularidades regionais são negligenciadas [1]. Aspectos importantes da edificação, como o clima local, as questões sociais e culturais da população, os materiais disponíveis no lugar, o bom desempenho dos sistemas construtivos e a eficiência energética se tornaram secundários [1, 2, 3].

Diante disso, as normas energéticas regulamentadoras surgem como uma importante ferramenta para a garantia do desempenho térmico das habitações e, conseqüentemente, para a melhoria da habitabilidade e da eficiência energética. No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas [ABNT] divulgou a NBR 15575: Edificações Habitacionais – Desempenho, a primeira norma a definir os padrões mínimos de desempenho para as edificações residenciais.

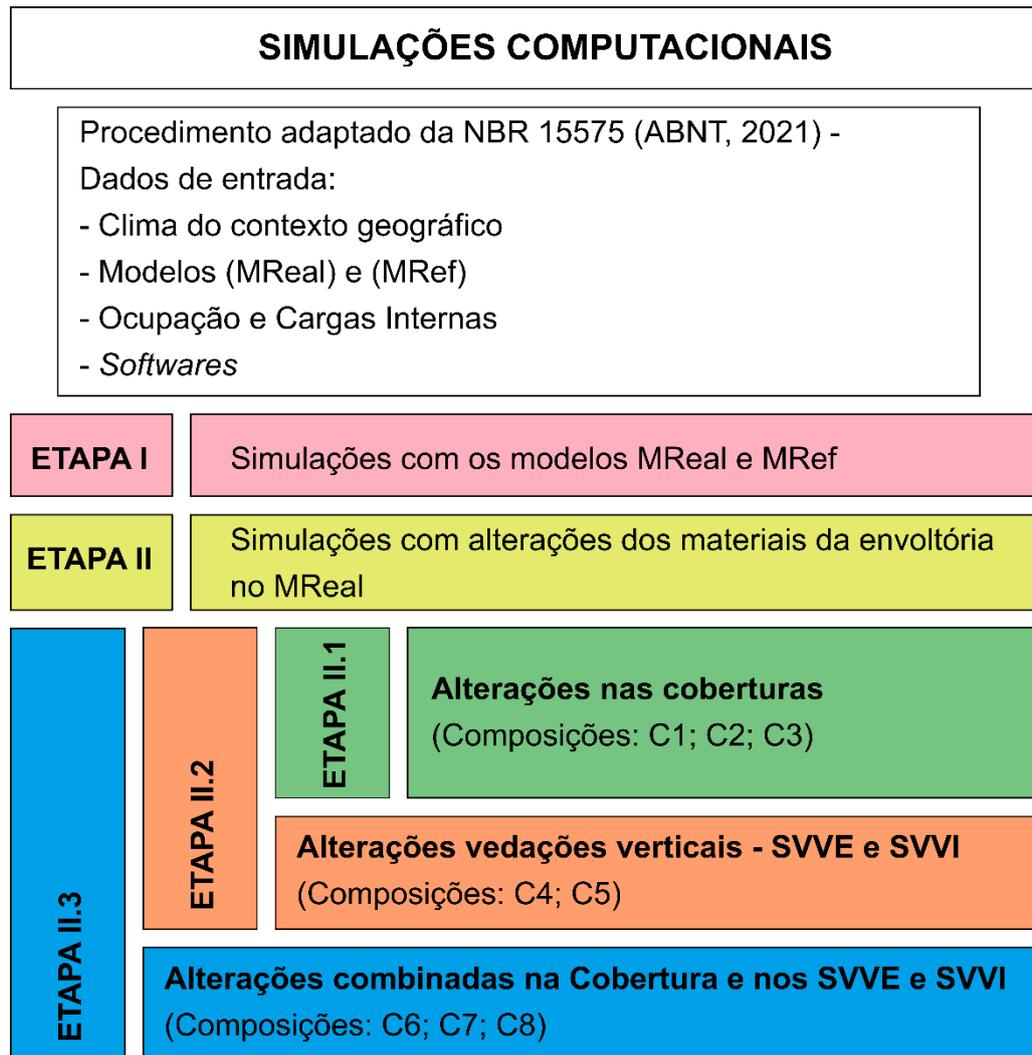
Com a vigência da norma, estabeleceu-se uma série de estudos que buscou compreender o desempenho térmico das habitações no Brasil, bem como o desempenho dos materiais empregados na construção [4, 5, 3]. Porém o país é vasto e multicultural, por isso as diferenças de clima, de cultura e de relações sociais afetam diretamente o resultado da análise de simulação do desempenho térmico [6, 7]. A norma busca simplificar e padronizar os requisitos para facilitar a sua aplicação, porém essa simplificação afeta diretamente a acurácia dos resultados.

Diante do exposto, a presente pesquisa tem por objetivo avaliar o desempenho térmico de HIS situadas na ZB8, mais precisamente no Litoral nordestino, a partir do método de simulação computacional com enfoque no desempenho dos materiais da envoltória. A escolha desta variável se deu devido à sua importância no desempenho térmico das edificações. A ideia geral é analisar esse desempenho, visando a um maior nível de classificação, a partir de uma combinação de materiais, considerando aqueles mais usais nas práticas construtivas, e identificar sua eficiência para a realidade do recorte regional em estudo.

2 METODOLOGIA

O procedimento metodológico desta pesquisa contou com as seguintes etapas: I - Simulações com os modelos MReal e MRef; II - Simulações com alterações dos materiais da envoltória no MReal; II.1 - Alterações nas coberturas; II.2- Alterações nas vedações verticais; II.3 – Alterações combinadas nas coberturas e nas vedações verticais. A figura 1 mostra as etapas das simulações que foram realizadas na pesquisa.

Figura 1: Procedimento metodológico da pesquisa

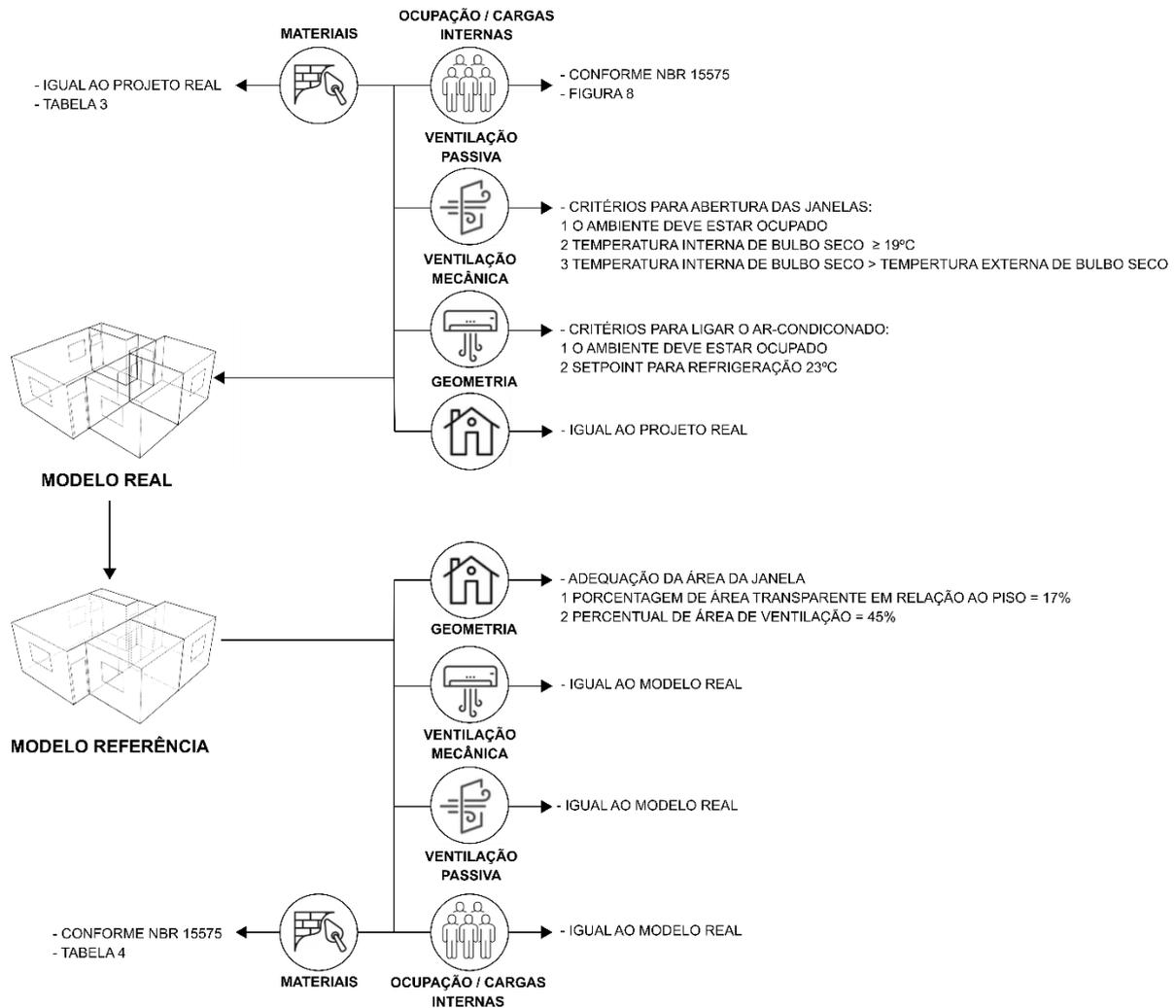


Fonte: o autor.

2.1 PROCEDIMENTOS ADAPTADOS DA NBR 15575 [ETAPA I]

O presente estudo visa a analisar o desempenho térmico de materiais da envoltória de HIS a partir do método da simulação computacional proposto na NBR 15575 [8]. Ele investiga o desempenho a partir da construção de dois modelos, um Real [MReal] e outro de Referência [MRef]. O MReal preserva as características do projeto original e no MRef são feitas alterações solicitadas pela norma [figura 2]. Ambos foram simulados, operando com a ventilação passiva e mecânica.

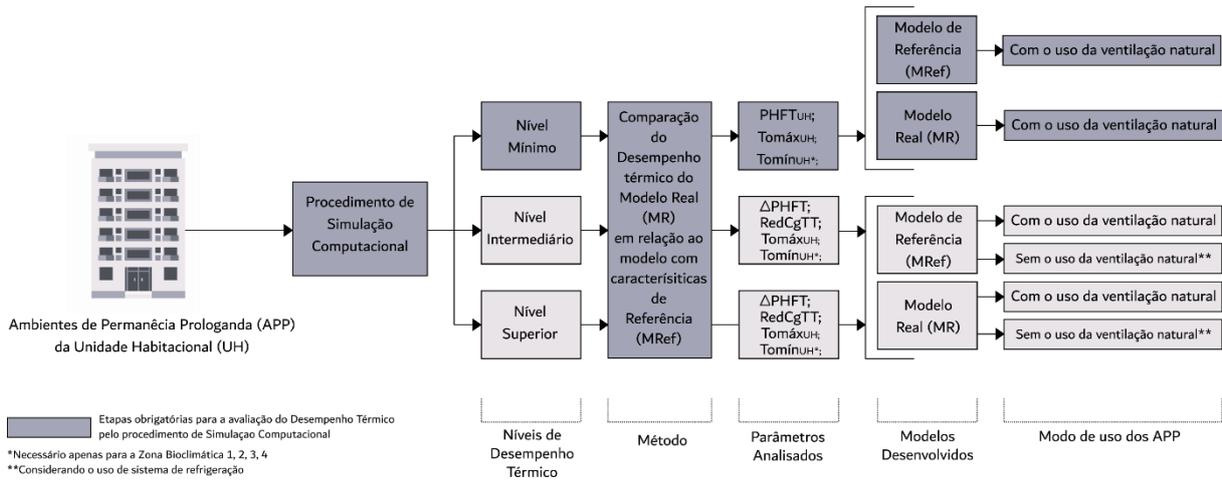
Figura 2: Características do MReal e MRef no método de simulação computacional proposto na NBR 15575 [8]



Fonte: Adaptado da NBR 15575 [8]

Cada modelo gerou quatro indicadores: a Temperatura Operativa Máxima [ToMáx], a Temperatura Operativa Mínima [ToMín], o Percentual de Horas de ocupação dentro de uma Faixa de Temperatura Operativa [PHFT] e a Carga Térmica Total [CgTT]. Ao final, compararam-se os resultados dos dois modelos e se definiu a classificação da edificação quanto ao seu nível de atendimento ao requisito [figura 3].

Figura 3: Procedimento de Simulação Computacional para análise de desempenho térmico

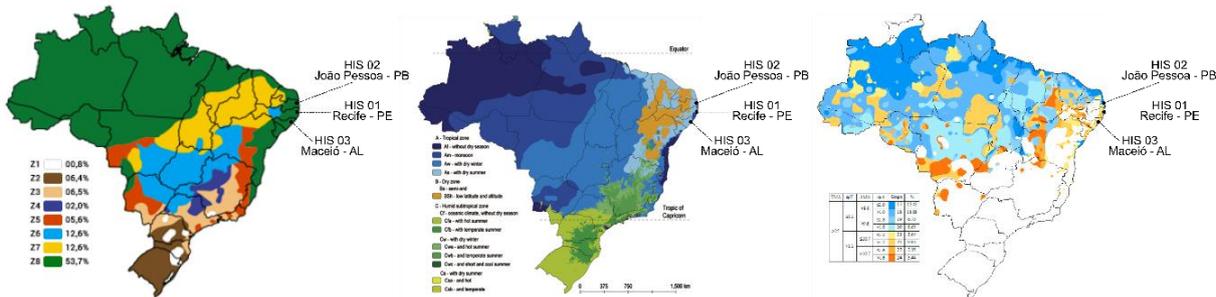


2.2 DADOS DE ENTRADA DA SIMULAÇÃO

As HIS foram simuladas para localização no litoral Nordeste, nas cidades de Recife – PE, João Pessoa – PB e Maceió – AL. De acordo com a NBR 15220_Parte 3 [9], estas estão na Zona Bioclimática 8. Na classificação de Koppen-Geiger, elas são classificadas como Am [10] e no documento do Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações [CB3E] [11] as três cidades fazem parte do grupo 21 [figura 4].

Essa classificação é caracterizada por um clima tropical chuvoso [quente e úmido], monçônico [chuvas o ano todo, com uma estação seca] e com temperaturas elevadas [médias entre 25°C e 27°C] [12]. A escolha dessas cidades com climas “semelhantes” teve por propósito ampliar as simulações para analisar como os materiais em estudo afetam o desempenho térmico nesse recorte do país.

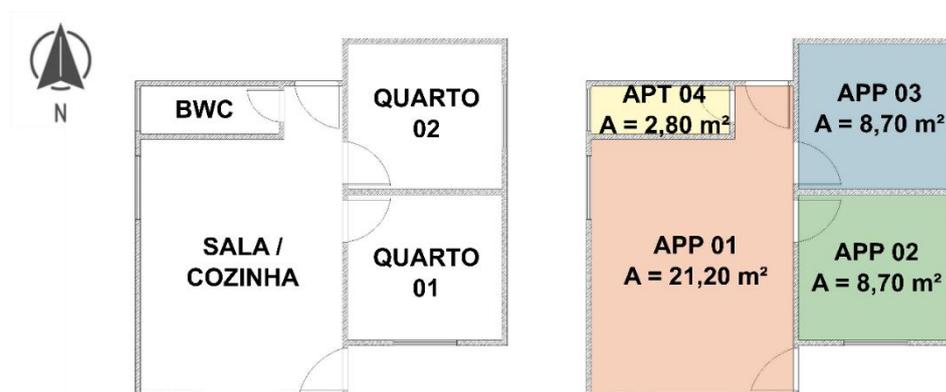
Figura 4: Classificação climática – NBR 15220 [à esquerda]; Koppen-Geiger [ao centro]; CB3E [à direita]



Fonte: Adaptado de [13, 10, 11]

Para o modelo da simulação, foi escolhida uma tipologia habitacional típica dos projetos de HIS no Brasil. A planta da edificação foi baseada no estudo realizado por Triana; Lamberts; Sassi [14] [figura 5]. A edificação consiste em uma habitação unifamiliar, de pavimento térreo, com uma área construída de 41,40 m². Ela conta com dois quartos, sala integrada à cozinha e um banheiro. Os três primeiros cômodos foram considerados como Áreas de Permanência Prolongada [APP] e apenas o banheiro foi considerado como uma Área de Permanência Transitória [APT] na modelagem.

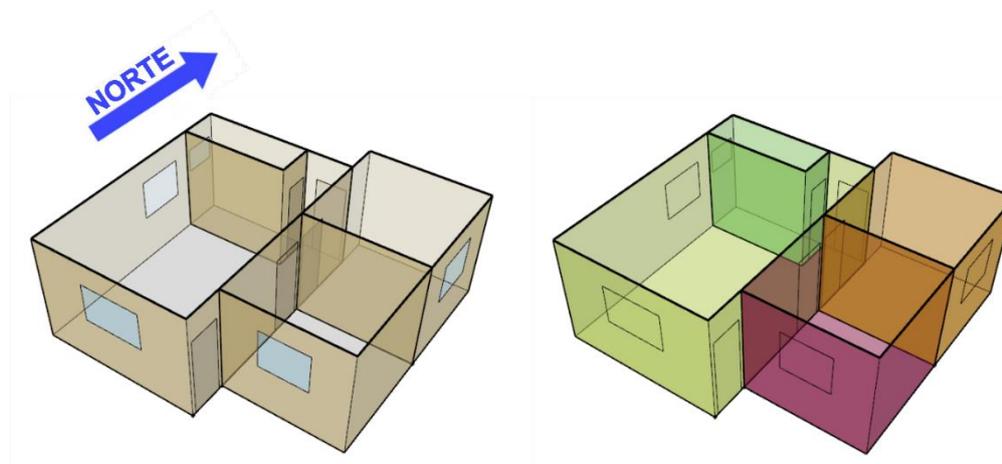
Figura 5: Planta baixa do modelo da simulação – disposição dos APP's e APT's



Fonte: o autor.

É importante salientar que o mesmo modelo, com as mesmas características, foi simulado com a mesma orientação [Norte] para as três cidades do estudo [figura 6]. A modelagem da edificação foi feita no *software OpenStudio* versão 1.1.0 associado ao *software Sketchup* versão 2019. Para a simulação do desempenho térmico da edificação, utilizou-se o *software EnergyPlus* versão 9.4.0.

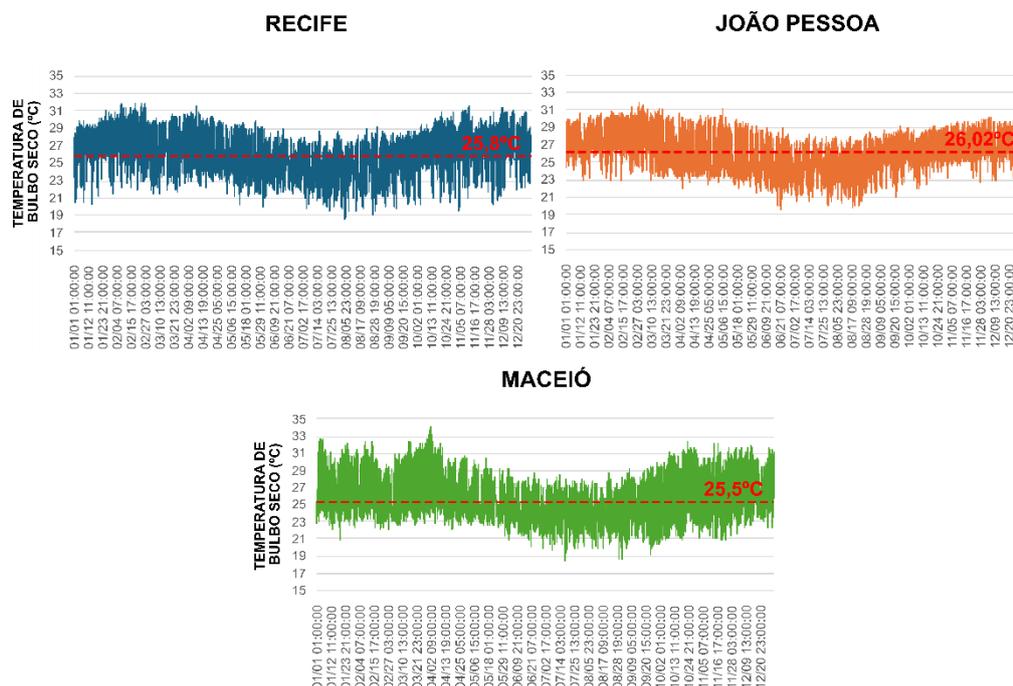
Figura 6: MReal utilizado na simulação das três cidades do estudo [à esquerda]. Zonas térmicas do MReal [à direita]



Fonte: o autor.

Quanto aos arquivos climáticos, foram utilizados aqueles definidos na NBR 15575-Parte 1-1 [15]. Esses arquivos foram disponibilizados pelo INMET em formato EPW. Os dados foram registrados no período de 2001 a 2010. A partir dos arquivos climáticos foi possível definir a média anual da temperatura de bulbo seco para cada cidade [figura 7].

Figura 7: Média da temperatura de Bulbo Seco para as cidades de Recife [acima à esquerda], João Pessoa [acima a direita] e Maceió [abaixo ao centro]



Fonte: o autor.

A partir dessa média anual foi possível definir os intervalos de temperatura operativa aceitável necessários para o cálculo do PHFT e CGTT. Como todas as cidades do estudo tiveram temperaturas médias entre 25°C e 27°C, elas ficaram dentro do intervalo II [tabela 1].

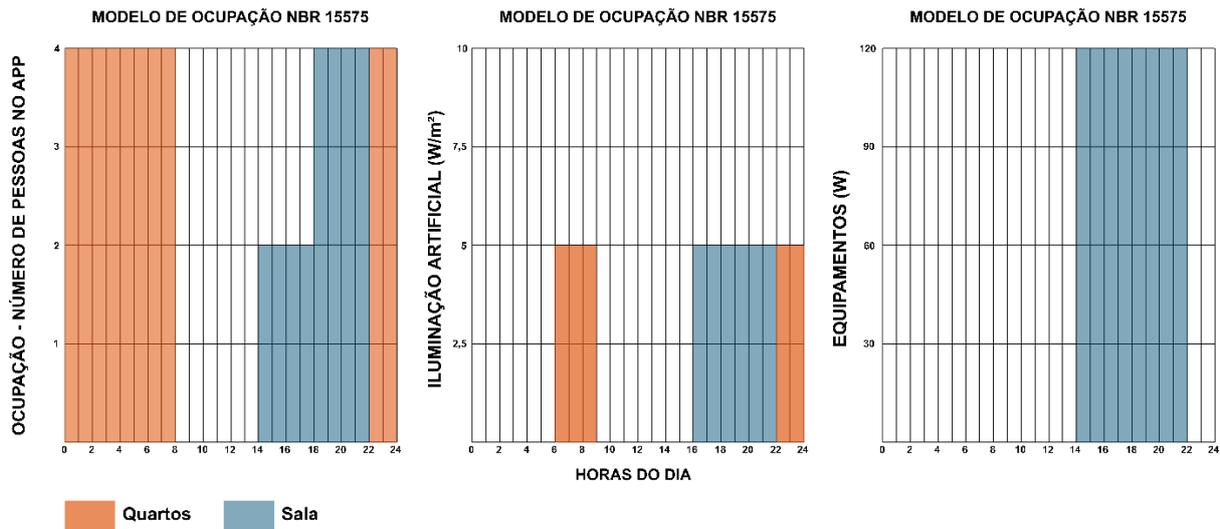
Tabela 1: Intervalos de temperaturas operativas aceitáveis

| Intervalos de temperatura externa | Média anual de temperatura externa de Bulbo Seco [TBSm] °C | Faixa de Temperatura Operativa* | | |
|-----------------------------------|---|---|---|---|
| Intervalo 01 | $TBSm < 25,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ | $18,0\text{ }^{\circ}\text{C} < T_o < 26,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ | $T_o \geq 26,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ | $T_o \leq 18,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ |
| Intervalo 02 | $25,0\text{ }^{\circ}\text{C} \leq TBSm < 27,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ | $T_o < 28,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ | $T_o \geq 28,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ | Não Considera |
| Intervalo 03 | $TBSm \geq 27,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ | $T_o < 30,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ | $T_o \geq 30,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ | Não Considera |

Nota: *Usado para o cálculo dos indicadores. Fonte: NBR 15575 [8]

A ventilação natural foi simulada, utilizando-se a ferramenta *AirflowNetwork* do software *EnergyPlus*. Para a refrigeração mecânica foi considerado um sistema de ar-condicionado ideal com uma temperatura de *setpoint* de 23°C. A norma ainda especifica para os modelos a mesma ocupação e as mesmas cargas internas [figura 8].

Figura 8: Ocupação e Cargas internas

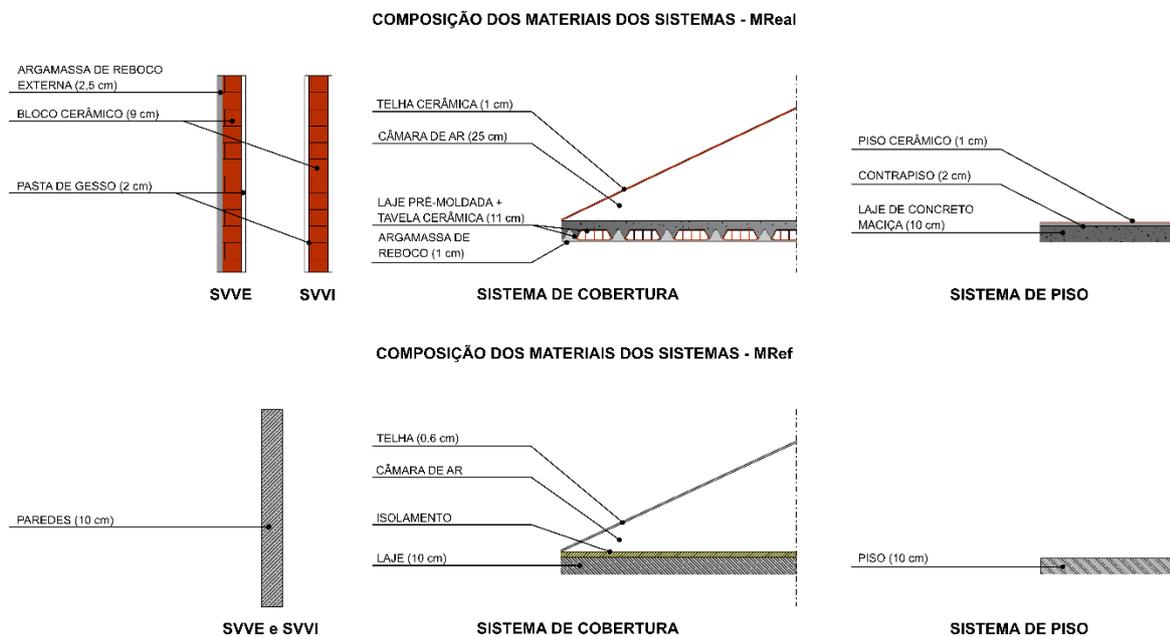


Fonte: Adaptado da NBR 15575 [8]

2.3 ETAPA I – SIMULAÇÕES COM OS MODELOS MREAL E MREF

A NBR 15575 [8] indica que o MReal deve preservar as suas características conforme projeto. Diante disso, foram selecionados materiais usualmente utilizados na construção civil, especialmente para HIS. A figura 9 demonstra a composição dos materiais utilizados para os Sistemas de Vedação Vertical Externa [SVVE], de Vedação Vertical Interna [SVVI], de Cobertura e de Piso do MReal e MRef nas simulações.

Figura 9: Composição dos materiais – MReal e MRef



Fonte: o autor.

A norma de desempenho ainda especifica a composição e a propriedade dos materiais que foram utilizados na simulação do MRef. Para a janelas, considerou-se o uso de vidro translúcido de 3 mm em ambos os modelos. A Tabela 2 apresenta as propriedades de todos os materiais utilizados em todas as simulações.

Tabela 2: Propriedade dos materiais usados nas simulações

| SIMULAÇÕES COM OS MReal e MRef [ETAPA I] | | | | | | | |
|--|-----------|---------------------|--------------------------------|---------------|----------------------------|----------|---------------|
| MReal | | | | | | | |
| | e [cm] | λ [W/mK] | ρ [kg/m ³] | c [kJ/kgK] | Rt [m ² K/W] | α | ε |
| SVVI [13 cm] | | | | | | | |
| Gesso Projetado | 2.0 | 0.35 | 900 | 0.870 | 0.057 | 0.2 | 0.9 |
| Bloco cerâmico 8 furos | 1.30 | 0.900 | 1600 | 0.920 | 0.014 | 0.7 | 0.9 |
| Câmara de ar [interno ao bloco] | 6.40 | 0.356 | - | - | 0.18 | - | - |
| SVVE [13,5 cm] | | | | | | | |
| Argamassa de Reboco - [pintura amarela] | 2.5 | 1.15 | 2000 | 1.000 | 0.022 | 0.3 | 0.9 |
| PISO [13 cm] | | | | | | | |
| Piso cerâmico | 1.0 | 1.05 | 2000 | 0.920 | 0.0071 | 0.4 | 0.9 |
| Contrapiso | 2.0 | 1.15 | 2000 | 1.000 | 0.0174 | 0.7 | 0.9 |
| Laje de concreto maciça [RADIER] | 10 | 1.75 | 2400 | 1.000 | - | 0.75 | 0.9 |
| COBERTURA [38 cm] | | | | | | | |
| Telha cerâmica | 1.0 | 1.05 | 2000 | 0.920 | 0.0095 | 0.75 | 0.9 |
| Câmara de ar | 25.0 | 1.190 | - | - | 0.2100 | - | - |
| Concreto pré-moldado | 4.0 | 1.75 | 2200 | 1.00 | 0.023 | 0.75 | 0.9 |
| Tabela Cerâmica | 1.20 | 1.05 | 2000 | 0.920 | 0.011 | 0.7 | 0.9 |
| Câmara de ar [interna a tabela cerâmica] | 4.60 | 0.565 | - | - | 0.081 | - | - |
| Argamassa de Reboco | 1.0 | 1.15 | 2000 | 1.000 | 0.009 | 0.7 | 0.9 |
| MRef | | | | | | | |
| PAREDES [10 cm] | | | | | | | |
| SVVI | 10.0 | 1.75 | 2200 | 1000 | - | 0.2 | 0.9 |
| SVVE | | | | | | 0.58 | 0.9 |
| PISO [10 cm] | | | | | | | |
| Piso | 10.0 | 1.75 | 2200 | 1000 | - | 0.4 | 0.9 |
| COBERTURA | | | | | | | |
| Telha | 0.6 | 0.65 | 1700 | 840 | - | 0.65 | 0.9 |
| Câmara de ar | - | - | - | - | 0.21 | - | - |
| Isolamento | - | - | - | - | 0.67 | - | - |
| Laje | 10.0 | 1.75 | 2200 | 1000 | - | 0.7 | 0.9 |
| SIMULAÇÕES COM ALTERAÇÕES DOS MATERIAIS DA ENVOLTÓRIA NO MReal [ETAPA II] | | | | | | | |
| NAS COBERTURAS [ETAPA II.1] | | | | | | | |
| C1 - Adição de Lã de Rocha [sobre a laje] | 3.0 | 0.035 | 40 | - | 0.8500 | - | - |
| C2 - EPS [substitui a tabela cerâmica] | 7 | 0.223 | 373 | 1.000 | 0.314 | 0.75 | 0.9 |
| C3 - Laje de concreto maciça [substitui laje com tabela cerâmica] | 10 | 2.5 | 2400 | 1.000 | - | 0.75 | 0.9 |
| NAS VEDAÇÕES VERTICAIS [ETAPA II.2] | | | | | | | |
| C4 | | | | | | | |
| Bloco de concreto 2 furos [substitui os blocos cerâmicos] | 1.73 | 1.75 | 2400 | 1.000 | 0.010 | 0.75 | 0.9 |
| Câmara de ar [interno ao bloco de concreto] | 5.54 | 0.438 | - | - | 0.126 | - | - |
| C5 - Parede de concreto moldado in loco | 10 | 2.3 | 2300 | 1.000 | - | 0.75 | 0.9 |

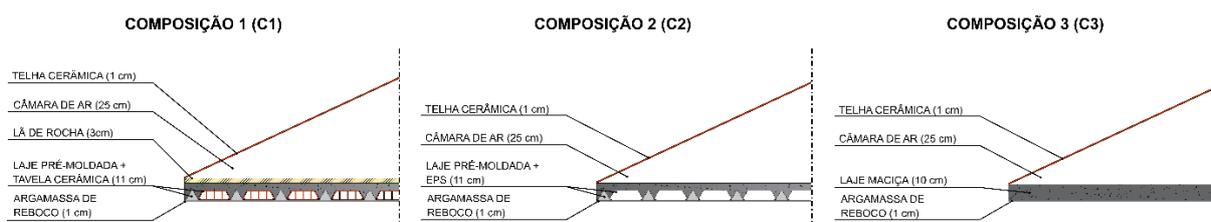
Fonte: [16, 17, 18, 8, 19]

2.4 ETAPA II – SIMULAÇÕES COM ALTERAÇÕES DOS MATERIAIS DA ENVOLTÓRIA NO MREAL

2.4.1 ETAPA II.1 – ALTERAÇÕES NA COBERTURA

Objetivou analisar a influência da alteração dos materiais da cobertura no resultado dos indicadores de desempenho térmico, sendo simuladas três composições diferentes de cobertura [figura 10]. É importante salientar que os demais sistemas mantiveram as características dos materiais do MReal.

Figura 10: ETAPA II.1 - Composição das coberturas nas simulações



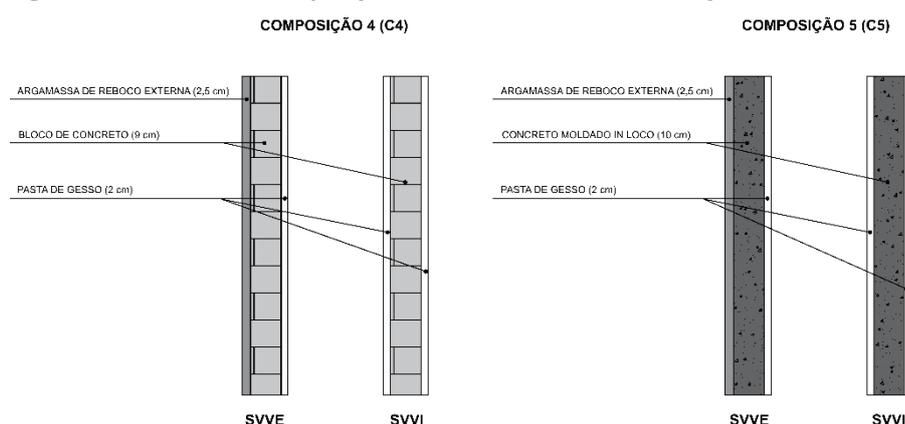
Fonte: o autor.

Assim como na escolha dos materiais do MReal, os materiais escolhidos para as variações de composição são tipicamente empregados pela construção civil nacional em obras de HIS. A escolha por esses materiais teve por objetivo entender o quanto eles afetam o desempenho dessas edificações construídas em larga escala ao longo dos anos.

2.4.2 ETAPA II.2 – ALTERAÇÕES NAS VEDAÇÕES VERTICAIS

Analisou a influência dos materiais do SVVE e do SVVI no desempenho térmico das HIS, sendo elaboradas duas novas composições para esses sistemas [figura 11]. Os demais sistemas permaneceram com as mesmas propriedades do MReal, inclusive a cobertura.

Figura 11: ETAPA II.2 - Composições do SVVE e SVVI nas simulações

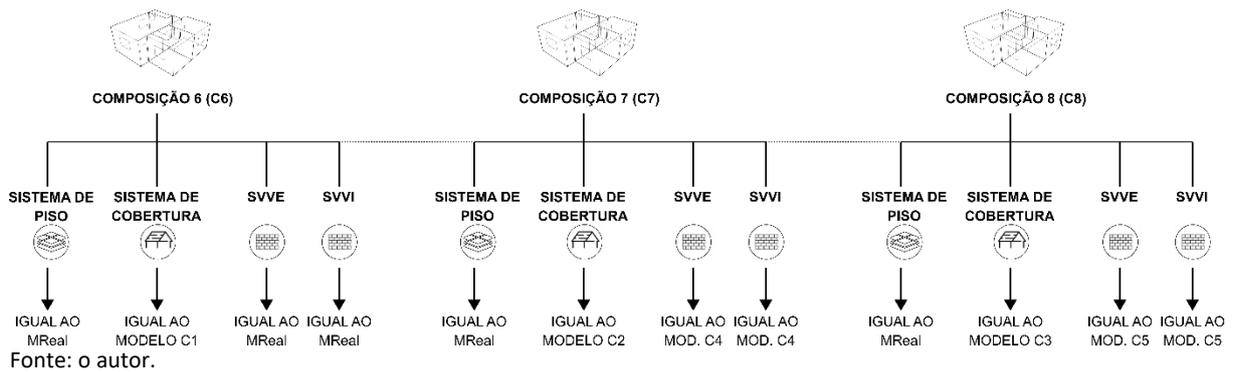


Fonte: o autor.

2.4.2 ETAPA II.3 – ALTERAÇÕES COMBINADAS NA COBERTURA E NOS SVVE E SVVI

Três sistemas combinando os materiais usados nas etapas anteriores foram simulados, com as alterações ocorrendo nos 3 sistemas: cobertura, SVVE e SVVI [figura 12].

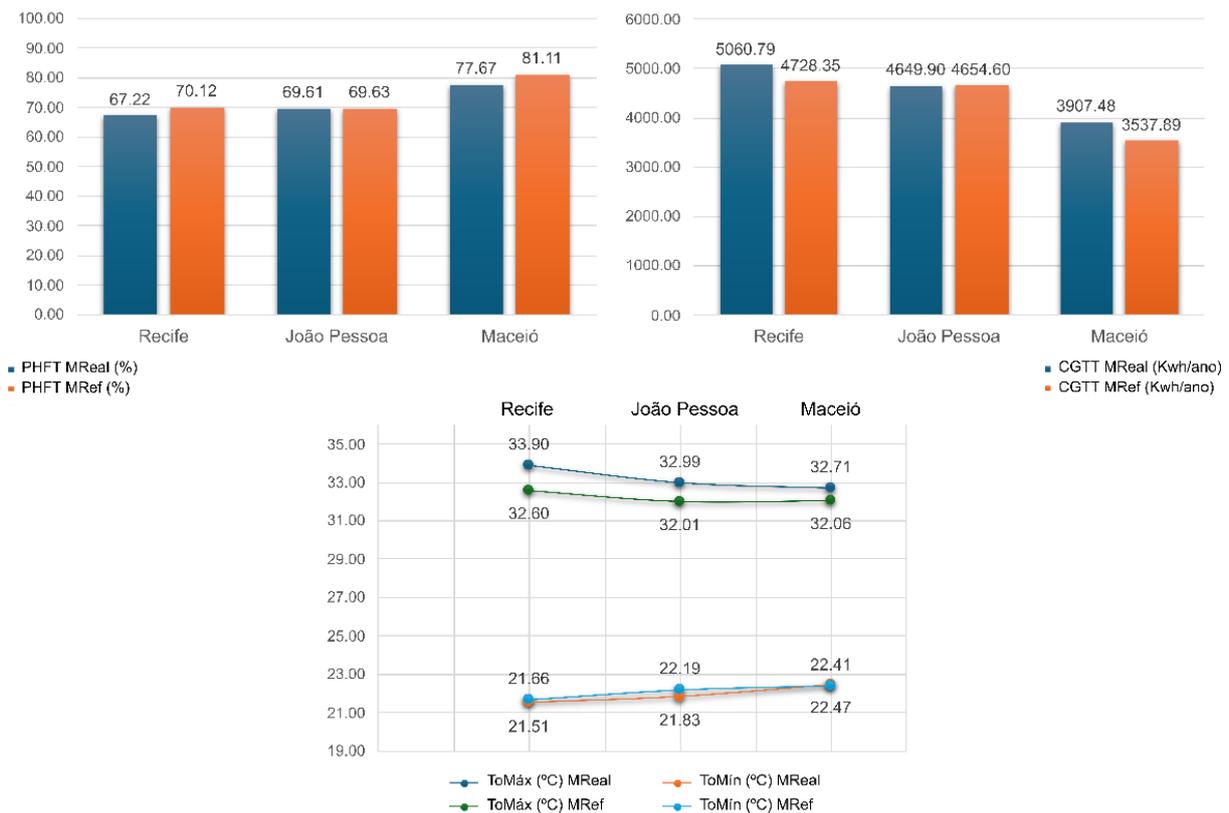
Figura 12: ETAPA II.3 - Composições com alterações combinadas nas simulações



3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Etapa I, realizaram-se as simulações de desempenho térmico do MReal e do MRef para as cidades em estudo. Os resultados dos indicadores de PHFT, ToMáx, ToMín e CGTT são apresentados nos gráficos da figura 13.

Figura 13: Indicadores de desempenho térmico - ETAPA I



Fonte: o autor.

Ao analisar os gráficos, é possível inferir, primeiramente, que o MRef apresenta indicadores com resultados melhores do que os do MReal em todas as cidades. Apesar disso, a diferença entre os resultados dos modelos é pequena.

Os materiais propostos em norma para o MRef possuem uma condutividade térmica maior do que os utilizados no MReal, o que deveria acarretar um consequente

aumento de temperatura nos ambientes, piorando os indicadores para esse modelo. Acredita-se que esse resultado divergiu do esperado devido ao uso de um material isolante no sistema de cobertura e do aumento da área de ventilação das janelas. Apesar dos resultados, as alterações de materiais do MRef não resultaram em diferenças substanciais em relação ao MReal. Ao final, foi possível classificar as HIS quanto ao seu nível de desempenho térmico de acordo com a norma [tabela 3].

Tabela 3: Níveis de Desempenho Térmico das HIS nas 3 cidades para MReal - ETAPA I

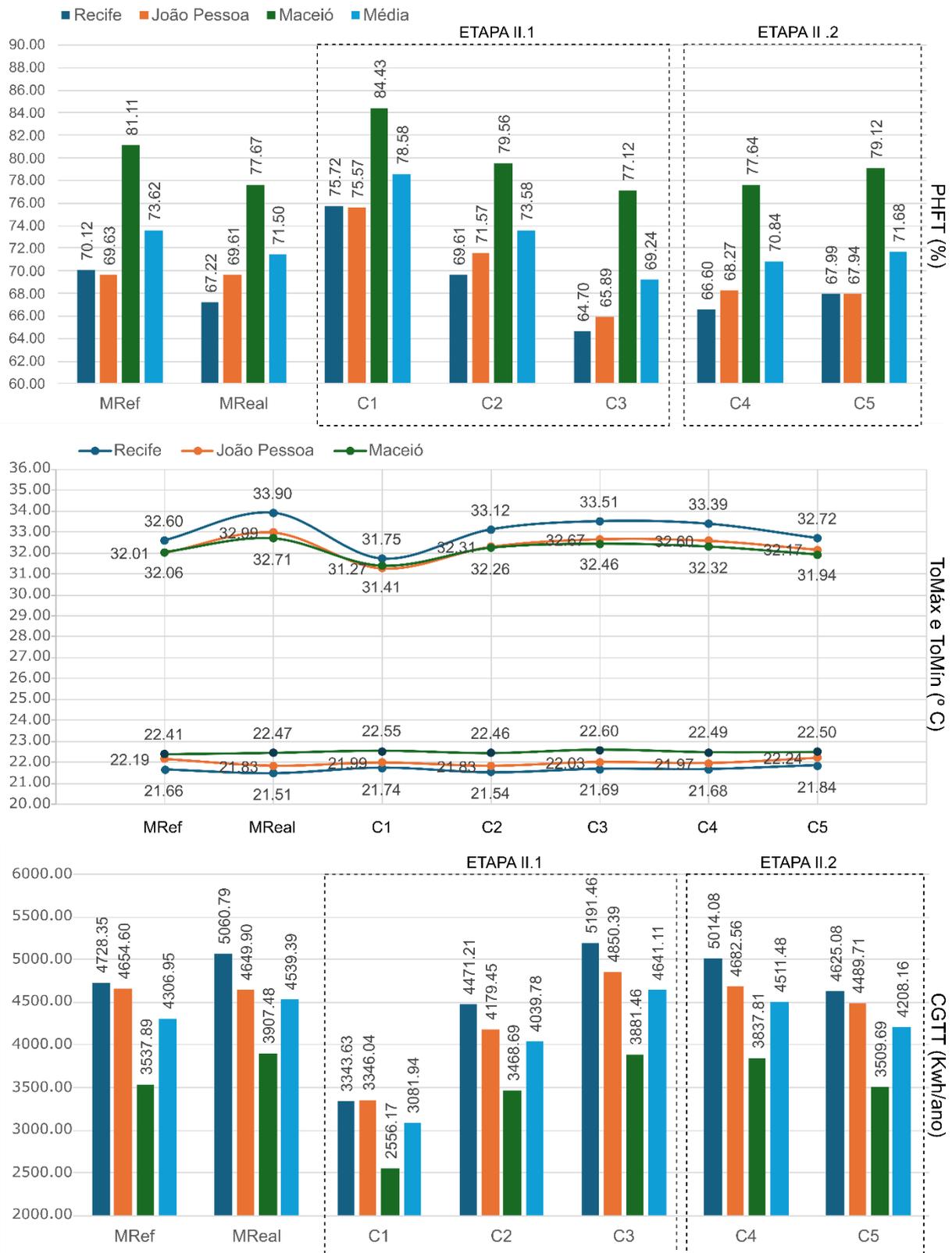
| INDICADOR | NÍVEL | | | NÍVEL DE CLASSIFICAÇÃO DA EDIFICAÇÃO RESULTANTE |
|----------------|--------|-----------------------|------------|---|
| | MÍNIMO | INTERMEDIÁRIO | SUPERIOR | |
| PHFT [%] | ATENDE | NÃO ATENDE | NÃO ATENDE | |
| ToMáx (°C) | ATENDE | - | - | MÍNIMO |
| ToMín [°C]* | - | - | - | |
| CGTT [kwh/ano] | - | NÃO ATENDE / ATENDE** | NÃO ATENDE | |

Nota: *Dispensável para a ZB8. **Apenas João Pessoa. Fonte: o autor.

Todas as HIS foram classificadas no nível mínimo de atendimento aos requisitos da norma. É importante pontuar que esse nível foi considerado aquém do desejado na presente pesquisa. Note-se que nenhuma HIS atendeu aos dois indicadores [PHFT e CGTT] para o nível intermediário, sendo, por isso também, os resultados considerados aquém dos desejados para as HIS.

Na Etapa II, a partir das simulações com a variação dos materiais do sistema de cobertura [Etapa II.1] e dos sistemas SVVE e SVVI [Etapa II.2], os resultados foram alterados como apresentados nos gráficos da figura 14.

Figura 14: Indicadores de desempenho térmico - ETAPAS II.1 e II.2



Fonte: o autor.

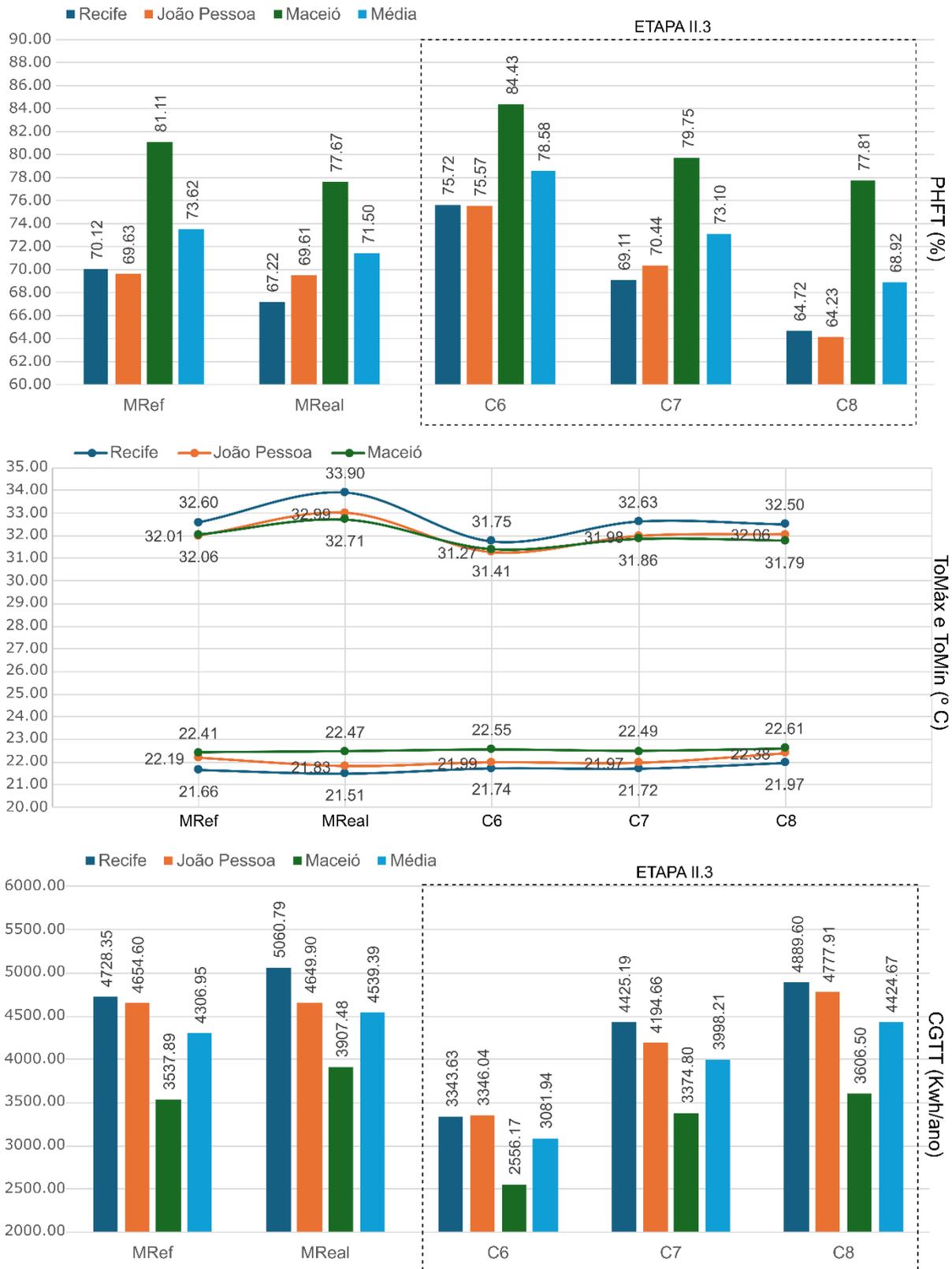
Os resultados da Etapa II.1 mostram que a composição C1 [uso de lâ de rocha na cobertura] obteve os melhores indicadores em todas as cidades do estudo. O PHFT teve um aumento médio de 7,08%. Os materiais da composição C1 também

acarretaram uma diminuição no consumo de refrigeração mecânica, tendo uma redução média de 1457,45 Kwh/ano, e na ToMáx mantendo todas as cidades na faixa de 31°C.

Na Etapa II.2, quando houve alteração nos materiais do SVVE e do SVVI, os resultados dos indicadores ficaram similares àqueles encontrados para o MReal. A variação média do PHFT para C4 foi de 0,66% e para C5 foi de apenas 0,18%. Esses resultados demonstram que os materiais do sistema de cobertura têm maior influência no desempenho térmico das HIS, devido ao seu índice de exposição prolongado ao sol durante o ano.

Os resultados das simulações da Etapa II.3, quando foram feitas alterações combinadas na cobertura e nos SVVE e SVVI, podem ser vistos nos gráficos da figura 15.

Figura 15: Resultados dos indicadores de desempenho térmico para a Etapa II.3



Fonte: o autor.

Os resultados dos indicadores da Etapa II.3 foram similares àqueles encontrados nas simulações com alteração dos materiais da cobertura [Etapa II.1], sendo a composição

[C6] com lã de rocha na cobertura e bloco cerâmico nas paredes a que obteve os melhores resultados. A composição [C8] com a laje maciça de concreto e as paredes também de concreto teve os piores resultados. Esse cenário foi o mesmo para as três cidades, demonstrando o comportamento uniforme dos materiais nesse clima e ficando clara a importância da resistência térmica do material isolante da cobertura para a melhoria do desempenho térmico nas HIS no Litoral Nordeste. A HIS com a composição C6 [que obteve os melhores resultados] foi classificada quanto ao seu nível de desempenho térmico [tabela 4].

Tabela 4: Níveis de Desempenho Térmico das HIS nas 3 cidades para a C6 - ETAPA II.3

| INDICADOR | NÍVEL | | | NÍVEL DE CLASSIFICAÇÃO DA EDIFICAÇÃO RESULTANTE |
|----------------|--------|---------------|------------|---|
| | MÍNIMO | INTERMEDIÁRIO | SUPERIOR | |
| PHFT [%] | ATENDE | ATENDE | ATENDE | |
| ToMáx (°C) | ATENDE | - | - | INTERMEDIÁRIO |
| ToMín [°C]* | - | - | - | |
| CGTT [Kwh/ano] | - | ATENDE | NÃO ATENDE | |

Nota: *Dispensável para a ZB8. Fonte: o autor.

A alteração feita no sistema de cobertura das HIS C6 foi suficiente para reclassificar as edificações para o nível intermediário [válido para as 3 cidades], atendendo ainda ao nível superior referente apenas ao indicador de PHFT. Apesar da melhoria no nível de desempenho, ao analisar objetivamente o incremento nos indicadores, é possível perceber que não há uma diferença acentuada. No caso especificamente do PHFT, a porcentagem média de aumento da HIS C6 em relação ao MRef foi de 4,96%, contudo, suficiente para atingir o nível superior desse critério. Assim, pode-se questionar a forma de classificação da norma quanto aos níveis de desempenho e se o modelo usado como referência traduz as reais necessidades das cidades brasileiras.

4 CONCLUSÃO

Com base no presente estudo, ficou clara a importância dos materiais da envoltória na análise do desempenho térmico das HIS. Compreender como cada material se comporta diante dos diversos climas brasileiros é imprescindível para possibilitar projetos com boa habitabilidade e energeticamente eficientes. Os materiais aqui estudados resultaram em padrões similares de desempenho para as três cidades do estudo, logo, foi possível inferir quais as melhores composições de materiais para o recorte estudado.

Também ficou evidenciada a importância da escolha dos materiais da cobertura, esta que recebe a maior insolação ao longo do ano, sobretudo no contexto geográfico estudado. Os materiais isolantes se apresentaram como um eficiente mecanismo para diminuir as temperaturas internas nas HIS. A simulação que usou a lã de rocha na cobertura [C6] teve seu nível de desempenho alterado de mínimo para intermediário, portanto melhorando em relação ao MReal e se utilizando apenas de um novo material.

É importante pontuar que os materiais aqui analisados são comumente utilizados na construção civil. Confirmou-se que o PHFT ficou abaixo do desejado e que há alta demanda por refrigeração mecânica. Apesar disso, a variação entre a média do pior PHFT [C8] para o melhor [C6] foi de 9,66%, demonstrando que mesmo os materiais comuns possuem distinções que devem ser consideradas para garantir a sua eficiência.

Por fim, destaca-se que novas pesquisas são necessárias para um entendimento mais aprofundado do desempenho térmico das HIS na ZB8, especificamente no litoral leste nordestino. Recomenda-se a análise e a simulação de novos materiais e o avanço na discussão sobre possíveis revisões no procedimento de simulação computacional para a análise do desempenho térmico da NBR 15575 [8].

REFERÊNCIAS

- [1] MACHADO, J. de M.; SIRTULI, B. P.; NICO RODRIGUES, E. A.; ALVAREZ, C. E. de; Sustentabilidade e Desempenho Térmico em Habitação de Interesse Social: aplicação da ferramenta ISMAS em Vitória-ES para vedações verticais. **Paranoá**, [s. l.], n. 27, p. 95-112, 2020. DOI: 10.18830/issn.1679-0944.n27.2020.06. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/paranoa/article/view/20405>. Acesso em: 14/08/2023.
- [2] BERLEZE, A. S.; BRASILEIRO, A. de B. H.; SILVOSO, M. M. Multi-objective optimization of the geometry of single-family housing to improve thermal performance. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 21, n. 2, p. 41 - 65, 2021. DOI: 10.1590/s1678-86212021000200514. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/FwsQJm5Bhd8Yjz3yNGmQK6H/?format=html>. Acesso em: 14/08/2023.
- [3] OLIVEIRA, R. B. de; ALVES, C. dos R. Análise do desempenho térmico de habitação de interesse social com paredes de concreto em Uberlândia-MG. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 12, n. 00, p. e021006, 2021. DOI: 10.20396/parc.v12i00.8661094. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8661094>. Acesso em: 14/08/2023.
- [4] SANTOS, M. B.; GOUVEIA, F. P. Análise do desempenho térmico de habitações de interesse social construídas em paredes de concreto: Um estudo de caso em Tucuruí – PA. **Revista de Engenharia**, n. 55, p. 5-18, 2018. Disponível em: <https://www.civil.uminho.pt/revista/artigos/n55/Pag.5-18.pdf>. Acesso em: 14/08/2023.
- [5] BALDISSERA, E.; LOVATO, P. Análise do desempenho térmico de sistema de vedação em alvenaria de blocos de concreto em atendimento a NBR 15575. In: **Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, v. 18, n. 1, p. 1 – 8, 2020. DOI: 10.46421/entac.v18i.750. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/article/view/750>. Acesso em: 14/08/2024.
- [6] OLIVEIRA, A. C. de; **Padrões de comportamento dos usuários sobre as aberturas para modelos de simulação de desempenho térmico em habitações de interesse social em clima quente e úmido**. 2019. Tese [Doutorado em Arquitetura e Urbanismo] – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/18498>. Acesso em: 14/08/2023.
- [7] KRELLING, A. F.; ELI, L. G.; OLINGER, M. S.; MACHADO, R. M. E. S.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. A thermal performance standard for residential buildings in warm climates: Lessons learned in Brazil. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 281, p. 112 - 770, 2023. DOI: 10.1016/j.enbuild.2022.112770. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778822009410>. Acesso em: 14/08/2023.

- [8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1_Edificações habitacionais – Desempenho**; Parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, 2021.
- [9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-1_Desempenho térmico de edificações**; Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.
- [10] ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507. Disponível em: http://143.107.18.37/material/mftandra2/ACA0225/Alvares_et_al_Koppen_climate_class_Brazil_MeteoZei_2014.pdf. Acesso em: 14/08/2023.
- [11] BAVARESCO, M. V.; MAZZAFERRO, L.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. **Classificação de climas brasileiros empregada na atualização dos Regulamentos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações**. Florianópolis: CB3E, Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações, 2017. Disponível em: https://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/Relatorio_GruposClimaticos.pdf. Acesso em: 14/08/2023.
- [12] MARINHO, G. A. S.; PEREIRA, F. da S.; SILVA, M. E. S. da; VIANA, M. C.; CAETANO, O. C. **Fatores e elementos climáticos usando a classificação de Köppen-Geiger**. Maceió: Universidade Federal de Alagoas: Instituto de Ciências Atmosféricas, 2022. 1 Apostila Projeto de Extensão - ACE 4[13p]. Disponível em: <http://www.repositorio.ufal.br/jspui/handle/123456789/10074>. Acesso em: 14/08/2023.
- [13] UGREEN. **Desempenho térmico: como dados climáticos ajudam na avaliação?** 2021. Disponível em: <https://www.ugreen.com.br/desempenho-termico-como-dados-climaticos-ajudam-na-avaliacao/>. Acesso em: 14/08/2023.
- [14] TRIANA, M. A.; LAMBERTS, R.; SASSI, P.; Characterisation of representative building typologies for social housing projects in Brazil and its energy performance. **Energy policy**, [s. l.], v. 87, p. 524-541, 2015. DOI: 10.1016/j.enpol.2015.08.041. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421515300859?via%3DiHub>. Acesso em: 14/08/2023.
- [15] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1_Edificações habitacionais – Desempenho**; Parte 1-1: Base – padrão de arquivos climáticos para a avaliação do desempenho térmico por meio do procedimento de simulação computacional. Rio de Janeiro, 2021.
- [16] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-1_Desempenho térmico de edificações**; Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005.
- [17] WEBER, F. da S.; MELO, A. P.; MARINOSKI, D. L.; GÜTHS, S.; LAMBERTS, R. **Desenvolvimento de um modelo equivalente de avaliação de propriedades térmicas para a elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no programa EnergyPlus**. Florianópolis: LABEE, 2017. Disponível em: <https://labeee.ufsc.br/pt-br/node/714>. Acesso em: 14/08/2023.
- [18] FIBROSOM. **Catálogo geral de produtos – isolamentos lã de rocha**. Cabeçudos, 2018. Disponível em: https://www.fibrosom.com/ficheiros/pdfs/La_de_Rocha.pdf. Acesso em: 14/08/2023.
- [19] CENTRO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **Cálculo da transmitância térmica de componentes construtivos usuais segundo a NBR 15220:2:2022**. Florianópolis, 2022. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/notas_tecnicas/R1%2010-2022-02.pdf. Acesso em: 14/08/2023.