

UNIVERSIDADE DE SANTA CRUZ DO SUL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Laura Dummer de Souza

ANÁLISE DO ISOLAMENTO TÉRMICO EM REVESTIMENTOS DE
FACHADAS

Santa Cruz do Sul

2024

Laura Dummer de Souza

**ANÁLISE DO ISOLAMENTO TÉRMICO EM REVESTIMENTOS DE
FACHADAS**

Trabalho de conclusão apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade de Santa Cruz do Sul para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Ms. Eng. Marcus Daniel Friederich dos Santos.

Santa Cruz do Sul

2024

Aos meus pais, cuja força de vontade e determinação sempre me *inspiraram* a buscar o melhor em tudo o que faço.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família, em especial aos meus pais, que não mediram esforços para me ajudar nesta etapa tão importante da minha vida. Sem vocês, nunca teria chegado tão longe.

Ao meu namorado, Eduardo, por acreditar em mim e por me apoiar incondicionalmente em cada etapa deste trabalho. Obrigada pela paciência, por todos os finais de semana de TCC e pelo incentivo nos momentos de dúvida e cansaço.

Ao meu orientador e professor, Marcus Daniel Friederich dos Santos, agradeço por todo o apoio, dedicação e tempo. Obrigada pelos ensinamentos valiosos que contribuíram significativamente para a realização deste trabalho. Foi enriquecedor passar este um ano como sua orientanda e, mais do que isso, ter você como exemplo de profissional.

À Arq. Mariana Rohde Pires, pelo tempo dedicado, pela paciência e disposição em ajudar.

Aos meus amigos e colegas de curso, pelas trocas de experiências, pelo companheirismo e por todas as memórias compartilhadas ao longo desses anos.

Às minhas amigas que me ouviram e me ajudaram em todos os momentos, meu muito obrigada. Vocês são extremamente especiais.

À Arq. Giédri Machado e a toda a equipe do escritório Mirada Arquitetura e Design, pelo apoio constante, pela flexibilidade demonstrada durante esta fase e pelas risadas compartilhadas, que tornaram os dias mais leves.

Por fim, agradeço a todos que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho, compartilhando conhecimentos, experiências e palavras de incentivo.

*"Uma mente que se abre a uma nova ideia
jamais voltará ao seu tamanho original."*

Albert Einstein

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho térmico de fachadas com diferentes tipos de revestimentos e isolante térmico, considerando às diversas orientações solares. A metodologia utilizada envolveu a realização de simulações computacionais mediante o software *EnergyPlus*, que permitiu a modelagem das edificações e a definição precisa das propriedades térmicas dos materiais. As simulações obtidas consideraram cenários variados de revestimentos, incluindo granito, cores claras, cores escuras, e a utilização de isolante térmico como a lã de rocha. Os resultados demonstraram que fachadas, associadas a materiais de revestimento adequados, proporcionam uma significativa melhoria no desempenho térmico das edificações. A inclusão da lã de rocha como isolante térmico mostrou-se particularmente eficaz na redução do ganho de calor, resultando em ambientes internos mais estáveis e confortáveis. A orientação das fachadas revelou ser um fator crucial, com fachadas voltadas para o oeste apresentando maiores ganhos de calor devido à intensa radiação solar à tarde, enquanto fachadas voltadas para o sul houve menor benefício, mas ainda apresentaram melhorias com o uso de isolante. O efeito chaminé nas fachadas ventiladas que facilita a circulação do ar, e a dispersão do calor vem contribuir significativamente para a redução das temperaturas internas sem a necessidade de consumo adicional de energia. Além dos benefícios térmicos, as fachadas ventiladas ajudam a reduzir a umidade e a prevenir a condensação, prolongando a vida útil dos materiais de construção e melhorando a qualidade do ar interno. A qualidade de uma edificação está diretamente relacionada ao seu desempenho, e a ABNT NBR 15575/2021 desempenha um papel fundamental nesse contexto, destacando a necessidade de conhecer e aplicar a respectiva norma para assegurar edificações com desempenho superior. As considerações finais ressaltam a importância de uma abordagem integrada no design de fachadas, combinando a seleção cuidadosa de materiais, a consideração da orientação solar e a implementação de sistemas de ventilação natural.

Palavras-chave: Desempenho térmico. Fachadas ventiladas. Revestimentos. *EnergyPlus*. ABNT NBR 15575/2021.

ABSTRACT

The present work aimed to evaluate the thermal performance of facades with different types of coatings and thermal insulators, considering the different solar orientations. The methodology used involved carrying out computer simulations with the help of the EnergyPlus software, which allowed the modeling of buildings and the precise definition of the thermal properties of the materials. The simulations obtained considered varied coating scenarios, including granite, light colors, dark colors, and the use of thermal insulator such as rock wool. The results demonstrated that facades, associated with suitable coating materials, provide a significant improvement in the thermal performance of buildings. The inclusion of rock wool as a thermal insulator proved to be particularly effective in reducing heat gain, resulting in more stable and comfortable indoor environments. The orientation of the facades proved to be a crucial factor, with facades facing west showing greater heat gains due to intense solar radiation in the afternoon, while facades facing south had less benefit, but still showed improvements with the use of insulator. The chimney effect on ventilated facades, which facilitates air circulation and heat dispersion, contributes significantly to reducing internal temperatures without the need for additional energy consumption. In addition to thermal benefits, ventilated facades help reduce humidity and prevent condensation, extending the life of building materials and improving indoor air quality. The quality of a building is directly related to its performance, and ABNT NBR 15575/2021 plays a fundamental role in this context, highlighting the need to know and apply the respective standard to ensure buildings with superior performance. Final considerations highlight the importance of an integrated approach to facade design, combining careful selection of materials, consideration of solar orientation and the implementation of natural ventilation systems.

Keywords: Thermal performance. Ventiladed facades. Coatings. EnergyPlus. ABNT NBR 15575/2021.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - As maiores temperaturas registradas no mundo	20
Figura 2 – Trocas entre ambiente e corpo	22
Figura 3 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro	28
Figura 4 - Transmitância térmica de referência para paredes externas	30
Figura 5 - Capacidade térmica de referência para paredes externas.....	31
Figura 6 - Efeito chaminé	33
Figura 7 – Câmara de ar e efeito chaminé	36
Figura 8 – Trocas de calor em edifícios e efeito estufa	37
Figura 9 - Vento e rugosidade do terreno	38
Figura 10 – Ventilação natural em edifícios.....	39
Figura 11 - Hotel Alameda Santos (SP)	41
Figura 12 - Residencial Misce Vila Madalena (SP)	41
Figura 13 - Shopping Catarina Fashion Outlet (SC)	42
Figura 14 – Fachada ventilada em concreto polímero.....	43
Figura 15 – Fachada ventilada em madeira	44
Figura 16 – Granito, basalto, calcário, mármore e ardósia.....	45
Figura 17 – Camadas de uma placa fenólica	45
Figura 18 – Fachada ventilada revestida em vidro	46
Figura 19 - Localização do Estado do RS no Brasil e da cidade Novo Hamburgo.....	49
Figura 20 – Dado climáticos.....	50
Figura 21 - <i>EP-Launch</i>	51
Figura 22 – Localização Residencial Ibiza.....	54
Figura 23 - Fachada do empreendimento Residencial Ibiza.....	55
Figura 24 - Modelagem de fachada com revestimento argamassado e pintura.....	56

Figura 25 - Comparação do revestimento argamassado com pintura escura ao norte	57
Figura 26 - Comparação com revestimento argamassado com pintura escura ao leste	58
Figura 27 - Comparação com revestimento argamassado com pintura escura ao sul	59
Figura 28 - Comparação com revestimento argamassado com pintura escura ao oeste.....	60
Figura 29 - Modelagem de fachada com revestimento argamassado e pintura.....	61
Figura 30 - Comparação com revestimento argamassado com pintura clara ao norte	62
Figura 31 - Comparação com revestimento argamassado com pintura clara ao leste.....	63
Figura 32 - Comparação com revestimento argamassado com pintura clara ao sul.....	64
Figura 33 - Comparação com revestimento argamassado com pintura clara ao oeste	65
Figura 34 - Modelagem de fachada com revestimento em granito/mármore.....	66
Figura 35 - Comparação com revestimento em granito/mármore ao norte.....	67
Figura 36 - Comparação com revestimento em granito/mármore ao leste.....	68
Figura 37 - Comparação com revestimento em granito/mármore ao sul	69
Figura 38 - Comparação com revestimento em granito/mármore ao oeste.....	70
Figura 39 - Modelagem de fachada com isolante térmico lã de rocha	70
Figura 40 - Comparação com isolante térmico lã de rocha ao norte	71
Figura 41 - Comparação com isolante térmico lã de rocha ao leste	72
Figura 42 - Comparação com isolante térmico lã de rocha ao sul.....	72
Figura 43 - Comparação com isolante térmico lã de rocha ao oeste	73
Figura 44 – Desempenho térmico do isolante térmico lã de rocha	74
Figura 45 - Modelagem de fachada com câmara de ar.....	75
Figura 46 - Comparação com fachada ventilada ao norte	76
Figura 47 - Comparação com fachada ventilada ao leste	76
Figura 48 - Comparação com fachada ventilada ao sul.....	77
Figura 49 - Comparação com fachada ventilada ao oeste	78

Figura 50 – Comparativo entre os resultados PHFT UH	79
Figura 51 - Comparativo entre os resultados Tomáx UH (°C)	80
Figura 52 - Comparativo entre os resultados Tomín UH (°C).....	81

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACM	Alumínio Composto
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
CgTT UH	Categoria Geral de Temperatura Térmica Unidade Habitacional
EPS	Poliestireno Expandido
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INETI	Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação
NBR	Norma Brasileira
PHFT UH	Percentual de Horas de Conforto Térmico Unidade Habitacional
PUR	Poliuretano Projetado
RS	Rio Grande do Sul
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
TMY	Typical Meteorological Year
Tomáx UH	Temperatura Máxima Unidade Habitacional
Tomin UH	Temperatura Mínima Unidade Habitacional
WDO	World Design Organization
XPS	Poliestireno Extrudido

LISTA DE SÍMBOLOS

C	Capacidade térmica
F	Fator solar
J	Joule
k	Kelvin
m ²	Metro quadrado
mm	Milímetro
°C	Graus Celsius
R	Resistência térmica
U	Transmitância térmica
W	Watt
α	Absortância
Δt	Variação de temperatura
Λ	Condutividade térmica
ρ	Densidade
φ	Atraso térmico
c	Calor específico
e	Espessura
τ	Transmissividade do material de fechamento

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1. Área de pesquisa	16
1.2. Limitação do tema	16
2 OBJETIVOS	17
2.1 Objetivo geral	17
2.2 Objetivos específicos	17
3 JUSTIFICATIVA	18
4 REFERENCIAL TEÓRICO	19
4.1 Conjuntura da crise climática global	19
4.1.1 Mudanças climáticas e aquecimento global	20
4.2 Clima no Brasil	21
4.3 Conforto térmico	21
4.3.1 Temperatura do ar	22
4.3.2 Temperatura radiante média	22
4.3.3 Umidade relativa do ar	22
4.3.4 Velocidade relativa do ar	23
4.4 Normas Brasileiras de Desempenho Térmico	23
4.4.1 ABNT NBR 15220/2005 – Desempenho Térmico de Edificações	23
4.4.1.1 Parte 1: Definições, símbolos e unidades	24
4.4.1.1.1 Atraso térmico	24
4.4.1.1.2 Capacidade térmica	25
4.4.1.1.3 Condutividade térmica	25
4.4.1.1.4 Fator Solar	26
4.4.1.1.5 Resistência térmica	26
4.4.1.1.6 Transmitância térmica	27
4.4.1.2 Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações	27
4.4.1.3 Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social	28
4.4.1.3.1 Zoneamento Bioclimático Brasileiro	28
4.4.2 ABNT NBR 15575/2021 – Edificações habitacionais: Desempenho	29
4.4.2.1 Desempenho térmico nas edificações	30

4.5 Fachadas ventiladas	31
4.5.1 Funcionamento do sistema de fachadas ventiladas	32
4.5.2 Isolantes Térmicos	33
4.5.2.1 Lã de rocha	33
4.5.2.2 Lã de vidro.....	34
4.5.2.3 Poliestireno extrudido (XPS).....	34
4.5.2.4 Poliestireno expandido (EPS).....	34
4.5.2.5 Poliuretano.....	35
4.5.2.6 Poliuretano projetado (PUR)	35
4.5.3 Câmara de ar.....	35
4.5.3.1 Ventilação natural.....	36
4.5.4 Materiais usados como revestimento de fachadas.....	39
4.5.4.1 Alumínio Composto (ACM).....	39
4.5.4.2 Cerâmica.....	40
4.5.4.3 Concreto Polimérico	42
4.5.4.4 Madeira.....	43
4.5.4.5 Pedras Naturais	44
4.5.4.6 Placas Fenólicas.....	45
4.5.4.7 Vidro.....	46
4.6 Software EnergyPlus	47
4.6.1 Medições <i>in loco</i>	47
5 METODOLOGIA.....	48
5.1 Coleta de dados.....	48
5.2 Definição da zona bioclimática	49
5.2.1 Arquivo climático	49
5.3 Simulação Termo Energética.....	50
5.3.1 <i>EnergyPlus</i>	50
5.3.2 <i>Inputs</i> de simulação	52
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	54
6.1 Revestimento argamassado com pintura de cor escura	56
6.1.1 Orientação solar norte.....	56
6.1.2 Orientação solar leste.....	58
6.1.3 Orientação solar sul	59

6.1.4 Orientação solar oeste.....	60
6.2 Revestimento argamassado com pintura de cor clara.....	61
6.2.1 Orientação solar norte.....	61
6.2.2 Orientação solar leste.....	62
6.2.3 Orientação solar sul	63
6.2.4 Orientação solar oeste.....	64
6.3 Comparação entre revestimento argamassado com pintura de cor escura e clara.....	65
6.4 Revestimento granito escuro	66
6.4.1 Orientação solar norte.....	66
6.4.2 Orientação solar leste.....	67
6.4.3 Orientação solar sul	68
6.4.4 Orientação solar oeste.....	69
6.5 Isolante Lã de Rocha	70
6.6 Fachada ventilada	75
6.7 Comparação dos resultados obtidos	78
7 CONCLUSÃO.....	82
REFERÊNCIAS	84

1 INTRODUÇÃO

As fachadas são vistas como a identidade da edificação, por muitos anos acreditou-se que sua finalidade se restringia à estética, porém a indústria da construção civil vem, por décadas, estudando este sistema, com o objetivo de integrar suas funções estéticas com um desempenho térmico eficiente e a redução dos custos na construção (MOURA, 2009).

Seguindo esse ponto, Cunha (2006), a fachada desempenha um papel crucial na valorização de um edifício, uma vez que, juntamente com a cobertura, constituem o envoltório da edificação, influenciando significativamente as condições ambientais internas, tais como o conforto térmico, conforto acústico, manutenção dos padrões de segurança ambiental e estrutural, bem como a privacidade dos usuários.

A necessidade de adotar métodos construtivos mais eficientes, visando a redução de resíduos, é essencial para a sobrevivência sustentável e duradoura do planeta, no entanto, é notável que a indústria da construção civil tem desempenhado um papel significativo na degradação ambiental. O setor da construção ainda é amplamente rotulado como defasado, caracterizando-se por sua baixa produtividade, desperdício excessivo de materiais, e um controle de qualidade insuficiente (EL DEBS, 2017).

Considerando o que foi mencionado, é de extrema importância o estudo, não só de métodos construtivos com menores desperdícios, mas também de edificações com uma performance inteligente, capazes de manter um desempenho sustentável ao longo de toda a sua vida útil.

Nesse contexto, é relevante destacar a aprovação da norma de desempenho brasileira NBR 15575/2021 pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, qual aborda uma ampliação nas exigências relacionadas ao desempenho das edificações e de seus fechamentos externos, com o objetivo de estabelecer uma uniformização do desempenho e da qualidade das construções no Brasil. Esta norma define requisitos mínimos, incluindo parâmetros como conforto térmico e acústico. Ademais, dado o clima predominantemente tropical, com verões quentes e invernos amenos, os métodos construtivos que envolvem revestimentos não colados se mostram promissores para atender a esses novos padrões de qualidade estipulados pela norma.

Assim, o estudo de sistemas de revestimento de edifícios por meio de fachadas ventiladas tem se mostrado uma alternativa para uma construção mais eficiente e racional, proporcionando melhor desempenho termo acústico e redução no prazo de execução, quando comparado com os sistemas de revestimento tradicionais, o que pode levar a redução de custos finais da obra.

Compreender a relação entre desempenho térmico e fachadas ventiladas é fundamental, como enfatiza Moura (2009): "Em um mundo cada vez mais preocupado com a mudança climática, a otimização do desempenho térmico dos edifícios é um imperativo". Portanto, este trabalho de conclusão de curso visa aprofundar nosso conhecimento sobre como as fachadas ventiladas podem contribuir para o conforto térmico e a eficiência energética em edifícios, alinhando-se com a visão da World Design Organization (WDO), que nos lembra que "o papel do designer é fazer escolhas que melhorem a qualidade de vida das pessoas".

1.1. Área de pesquisa

O presente trabalho foi desenvolvido na área de revestimentos de fachadas.

1.2. Limitação do tema

O escopo deste trabalho se limita na pesquisa do desempenho térmico em fachadas de edificações, seguindo as diretrizes da norma ABNT NBR 15575/2021.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O respectivo trabalho possui como objetivo de avaliar o desempenho térmico em fachadas, sendo levado em consideração os diferentes tipos de revestimentos.

2.2 Objetivos específicos

- Utilização do software EnergyPlus para simular, e analisar o nível de conforto térmico das edificações;
- Realizar análises buscando demonstrar as vantagens e desvantagens desse sistema, de modo a melhorar a compreensão do funcionamento e manutenção do mesmo;
- Detalhar os principais revestimentos utilizados em fachadas;
- Comparação com o sistema clássico de revestimento aderido de fachada;
- Analisar e avaliar os resultados obtidos ao decorrer da pesquisa.

3 JUSTIFICATIVA

O referido estudo se justifica a partir do momento que as fachadas não são somente efeitos estéticos e arquitetônicos nas edificações, indo de encontro com a norma técnica brasileira, as fachadas tem papel fundamental no desempenho térmico das construções, acústicos, bem como de energética.

A cada década que passa a preocupação com a sustentabilidade se torna mais em foco, e isso não é diferente na construção civil, objetivando-se em diminuir o consumo de energia e melhorar o consumo térmico das edificações. Corroborando com isso, no século passado surge na Europa o método construtivo conhecido como fachadas ventiladas, buscando aumentar a qualidade das construções.

Em consonância com as preocupações globais decorrentes das mudanças climáticas e da necessidade de reduzir as emissões de carbono, a adoção de estratégias sustentáveis de projeto se torna necessárias. Assim, os revestimentos em fachadas são um dos elementos-chaves nessa trajetória, pois, eles oferecem um potencial notável para a melhoria do desempenho térmico dos edifícios e, assim, podem contribuir significativamente para a redução do consumo de energia nos setores residências e comerciais.

No entanto, para que essa promissora estratégia seja eficaz em diferentes contextos, é fundamental considerar uma série de variáveis. Conforme aponta Cunha (2006), "o desempenho térmico dos revestimentos de fachadas ventiladas é altamente influenciado por fatores como o clima local, o tipo de material de revestimento e o design arquitetônico". Portanto, é imperativo realizar uma análise abrangente e específica para entender como esses fatores interagem e afetam o desempenho térmico em cada caso.

No Brasil, devido às marcantes variações térmicas e ao desafio do déficit energético, enfrenta uma demanda crescente por inovações que abordem o consumo energético elevado em edifícios. Uma solução viável para este dilema surge na forma das fachadas ventiladas.

Em resumo, este TCC visa promover uma abordagem mais sustentável na concepção de edifícios, refletindo o compromisso com a eficiência energética e o conforto ambiental, que são fundamentais para enfrentar os desafios do século XXI.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Conjuntura da crise climática global

A conjuntura do clima global tem sido uma preocupação crescente diante das mudanças climáticas nas últimas décadas. Com base no relatório das Nações Unidas Brasil (2019), essas mudanças se referem a transformações de longo prazo nos padrões de temperatura e clima, sendo impulsionadas principalmente pelas atividades humanas, em especial a queima de combustíveis fósseis. Ademais, a concentração de gases de efeito estufa na atmosfera está em seu nível mais alto em 2 milhões de anos, e as temperaturas já aumentaram em 1,2 °C em comparação ao final do século XIX.

As consequências das mudanças climáticas são amplas, e estão impactando diretamente na saúde das pessoas, na produção de alimentos, na habitação, na segurança e no trabalho. Dentre os efeitos, o artigo das Nações Unidas Brasil (2019), destaca a ocorrência de secas, a escassez de água, incêndios florestais graves, elevação do nível do mar, enchentes, derretimento do gelo polar, tempestades catastróficas e declínio da biodiversidade, o que está deixando comunidades vulneráveis, como pequenos estados insulares e países em desenvolvimento, são particularmente afetadas pelos impactos climáticos.

Para enfrentar a crise climática, são necessárias ações globais, mudanças em grandes escalas, começando pela política e práticas sustentáveis, ações-chave incluem a redução das emissões de gases de efeito estufa, a adaptação aos impactos climáticos e o financiamento de ajustes necessários. A transição de combustíveis fósseis para fontes de energia renovável e a redução da produção de combustíveis fósseis são passos essenciais. Esforços de adaptação podem proteger pessoas, casas, empresas, meios de subsistência, infraestrutura e ecossistemas. Sistemas de alerta precoce para desastres, por exemplo, podem salvar vidas e trazer benefícios até dez vezes maiores do que os custos iniciais, estas são algumas das ações possíveis de serem realizadas, conforme mencionado pelas Nações Unidas Brasil (2019).

Além disso, as Nações Unidas Brasil (2019), discorre sobre a conscientização das pessoas, bem como a educação desempenham um papel fundamental na mobilização de ações e na promoção de mudanças de comportamento em direção à sustentabilidade. Ademais, é necessário que as pessoas entendam a gravidade da crise climática e adotem práticas cotidianas mais sustentáveis, como economizar energia, reduzir o consumo de recursos naturais e apoiar políticas e empresas ambientalmente responsáveis.

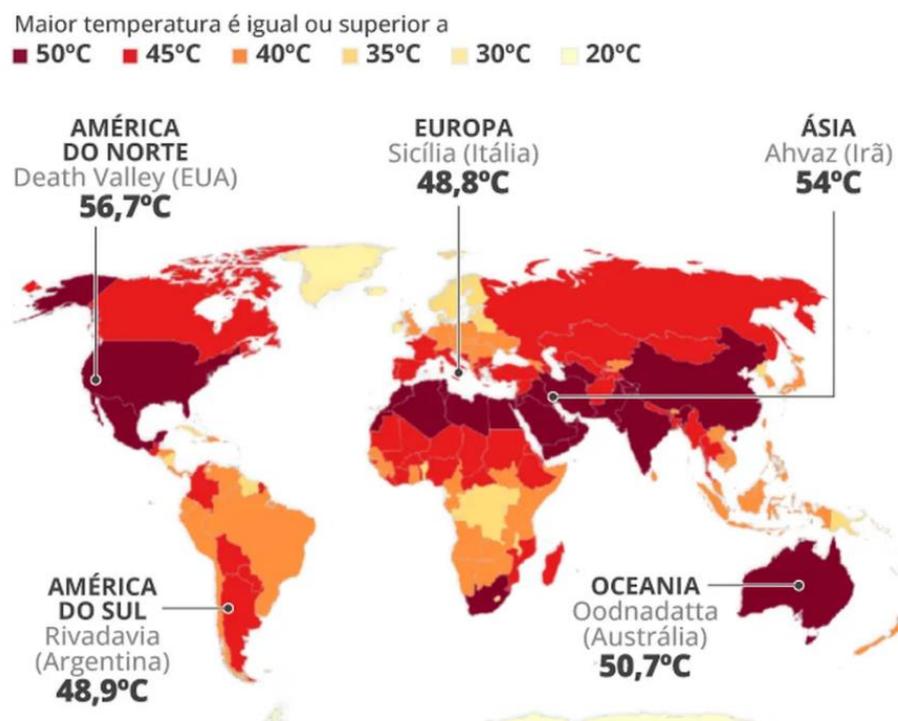
4.1.1 Mudanças climáticas e aquecimento global

O aumento do dióxido de carbono na atmosfera é um dos principais contribuintes para o aquecimento global. O dióxido de carbono e outros gases de efeito estufa retêm o calor na atmosfera, levando a temperaturas mais altas. Como observado no artigo da National Geographic (2023), desde a Revolução Industrial, as emissões de gases de efeito estufa aumentaram significativamente, principalmente devido à queima de combustíveis fósseis e ao desmatamento.

Aliás, a National Geographic (2023), relata que o aquecimento global intensifica fenômenos naturais, como incêndios florestais, secas e tempestades, devido ao aumento das emissões de gases de efeito estufa. A capacidade das florestas e dos oceanos de absorver dióxido de carbono está diminuindo, o que agrava ainda mais o problema.

Os recordes de temperatura (Figura 1) estão sendo quebrados globalmente e no Brasil, refletindo o aquecimento do planeta. Além disso, as temperaturas oceânicas estão aumentando, em parte devido ao padrão climático El Niño (O GLOBO, 2023).

Figura 1 - As maiores temperaturas registradas no mundo



Fonte: O GLOBO (2023)

4.2 Clima no Brasil

No Brasil, país de dimensões continentais, a conjuntura climática é marcada por uma diversidade de biomas e climas, desde o clima equatorial na Amazônia até o semiárido nordestino, o país enfrenta desafios climáticos diversos. Aspectos como a intensidade das chuvas, a temperatura média anual e a umidade do ar variam substancialmente de região para região, argumentado pelo artigo do O GLOBO (2023).

Por sua autoria LAMBERTS (2016), relata que em várias partes do Brasil, o aumento da temperatura média e as variações climáticas têm afetado não apenas o conforto térmico das edificações, mas também a produção agrícola, bem como os recursos hídricos e a biodiversidade. Portanto, a consideração das condições climáticas nacionais é essencial ao abordar o desempenho térmico em edificações, pois as estratégias de projeto devem ser adaptadas às demandas específicas de cada região.

Nesse contexto de desafios climáticos variados, as fachadas ventiladas surgem como uma solução inovadora e eficaz para a melhoria do desempenho térmico de edifícios em diferentes partes do Brasil. Essa tecnologia, que permite a circulação controlada de ar entre a parede externa e o revestimento da fachada, ajuda a regular a temperatura interna.

4.3 Conforto térmico

O conforto térmico pode ser definido como o estado de satisfação física e mental de uma pessoa em relação às condições térmicas do ambiente em que ela se encontra, é o equilíbrio entre calor e frio, de forma que a pessoa não sinta desconforto térmico. Todavia, vale ressaltar que o conforto térmico é uma experiência subjetiva e pode variar de pessoa para pessoa, assim expresso por Lamberts (2016).

Em conformidade com a norma ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers*), o conforto térmico é "um estado ou condição de satisfação em relação ao ambiente em que a pessoa está", portanto, é importante compreender que o conforto térmico não depende apenas da temperatura do ar, mas também de outras variáveis ambientais e individuais.

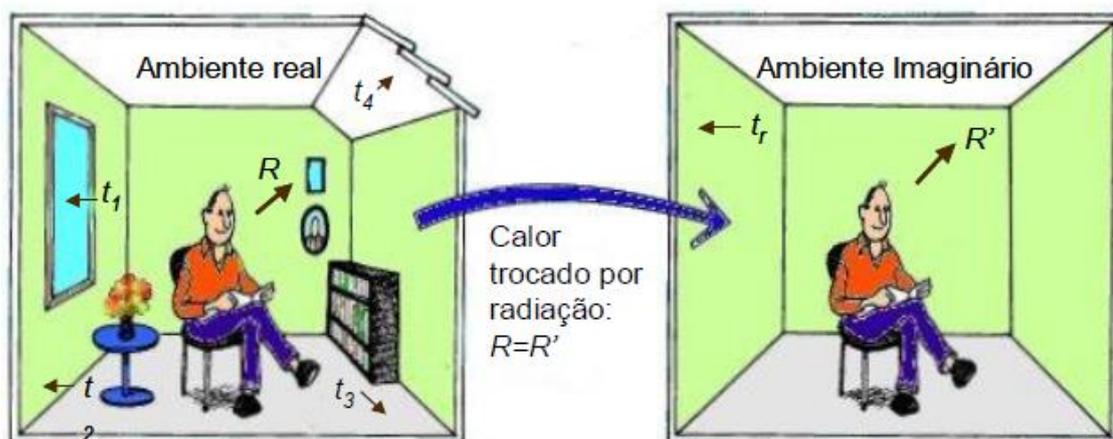
4.3.1 Temperatura do ar

É a variável climática mais conhecida e de fácil medição, o que explica Lamberts (2016), sendo a sua variação decorrente dos resultados dos movimentos de grandes massas de ar e da absorção da radiação em cada região, quando a velocidade do fluxo de ar é baixa, a temperatura é amplamente determinada pelos ganhos térmicos solares do local. No entanto, quando a velocidade é alta, os fatores locais passam a exercer uma influência maior na temperatura.

4.3.2 Temperatura radiante média

É descrito como a "temperatura uniforme de um ambiente imaginário no qual a troca de calor do corpo humano por radiação é igual a troca de calor por radiação no ambiente real não uniforme " medida em graus Celsius, conforme ABNT NBR 15220-4, (2005). As trocas de calor entre um ambiente real e o corpo, bem como entre um ambiente imaginário e o mesmo corpo, por meio da temperatura radiante média, podem ser observadas na Figura 2.

Figura 2 – Trocas entre ambiente e corpo



Fonte: Lamberts (2016)

4.3.3 Umidade relativa do ar

A umidade é definida por Lamberts (2016) como a “[...] quantidade de vapor d’água contida no ar úmido em relação à quantidade de vapor d’água contido no ar saturado para uma determinada condição de temperatura e pressão”. À medida que a temperatura aumenta, o corpo aumenta a eliminação de calor por evaporação, devido à dificuldade de perda por convecção e radiação. Portanto, a eficácia da evaporação na dissipação do calor diminui à medida que a umidade relativa aumenta.

4.3.4 Velocidade relativa do ar

A movimentação do ar ocorre em espaços internos mesmo na ausência de vento direto, Lamberts (2016) aprofunda em relação a variação de temperatura, que provoca o deslocamento do ar no ambiente, com o ar mais quente ascendendo e o ar mais frio descendo. Quando o ar é movido por meios mecânicos, o coeficiente de convecção aumenta, resultando em uma sensação ampliada de perda de calor. O movimento do ar intensifica os efeitos da evaporação no corpo humano, removendo a umidade da pele de forma mais eficiente e, assim, reduzindo a sensação de calor.

4.4 Normas Brasileiras de Desempenho Térmico

Com o aumento da conscientização ambiental e a busca por uma utilização mais eficiente dos recursos, o Brasil implementou duas normas relacionadas ao desempenho térmico, nomeadamente:

- ABNT NBR 15220/2005 - Norma Brasileira de Desempenho Térmico de Edificações;
- ABNT NBR 15575/2021 - Norma Brasileira de Edificações Habitacionais - Desempenho.

4.4.1 ABNT NBR 15220/2005 – Desempenho Térmico de Edificações

São estabelecidas diretrizes construtivas pela a ABNT NBR 15220/2005 para garantir o conforto térmico em habitações unifamiliares. Ela leva em consideração aspectos como conforto térmico, consumo de energia e eficiência energética, fornecendo métodos de cálculo das propriedades térmicas de elementos e componentes de edificações, além de recomendações e estratégias construtivas.

Esta norma é de extrema importância para garantir a qualidade e a sustentabilidade das edificações, especialmente em um contexto de preocupações crescentes com as mudanças climáticas e a necessidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa.

A norma é dividida em cinco partes, conforme descrito a seguir:

- Parte 1: definições, símbolos e unidades;

- Parte 2: métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações;
- Parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social;
- Parte 4: medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida;
- Parte 5: medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico.

Para a realização da avaliação do desempenho térmico deste trabalho foram necessárias as três primeiras partes da Norma, visto que são exigidas pela ABNT NBR 15575/2021. A seguir serão dispostos os principais aspectos e pontos de interesse das partes citadas.

4.4.1.1 Parte 1: Definições, símbolos e unidades

A primeira parte da Norma “[...] estabelece as definições e correspondentes símbolos e unidades de termos relacionados com o desempenho térmico de edificações” (ABNT, 2005). Os conceitos que foram utilizados ao decorrer do trabalho, sendo apresentados na sequência.

4.4.1.1.1 Atraso térmico

O atraso térmico é definido como o intervalo de tempo decorrido entre uma variação térmica em um material e sua manifestação na superfície oposta de um elemento de construção sujeito a um processo cíclico de transferência de calor, pode ser calculada por meio da equação 1 (NBR 15220-1/2005).

$$\varphi = 0,7284\sqrt{R \times C} \quad (1)$$

Onde:

φ = Atraso térmico (h);

R = Resistência térmica (m² K/W);

C = Capacidade térmica (kJ/m².K).

4.4.1.1.2 Capacidade térmica

Em concordância com a Norma NBR 15220-1 (ABNT, 2005), a capacidade térmica (C) é definida como a "quantidade de calor necessária para variar em uma unidade a temperatura de um sistema". Por sua vez, a capacidade térmica de um componente (CT) é obtida pela divisão da capacidade térmica do componente por sua área, conforme estabelecido pela mesma norma. A equação 2 a seguir pode ser usada para calcular essa capacidade.

$$C = e \times c \times \rho \quad (2)$$

Onde:

e = espessura da camada;

c = calor específico do material da camada;

ρ = densidade de massa aparente do material da camada.

4.4.1.1.3 Condutividade térmica

De acordo com a NBR 15220-1 (ABNT, 2005), a condutividade térmica (λ) é uma propriedade física de um material homogêneo e isotrópico. Ela é definida como a capacidade desse material conduzir um fluxo constante de calor, com densidade de 1 W/m^2 , quando exposto a um gradiente de temperatura uniforme de 1 Kelvin por metro. A condutividade térmica é uma propriedade característica de cada material e pode ser calculada por meio da equação 3.

$$\lambda = \frac{q}{A} \times \frac{e}{\Delta T} \quad (3)$$

Onde:

λ = Condutividade térmica do material (W/m.K);

q/A = Fluxo de calor (W.m^{-2});

e = Espessura do material (m);

ΔT = Variação de temperatura (K).

4.4.1.1.4 Fator Solar

A relação entre a quantidade de energia solar que atravessa uma superfície e a quantidade incidente sobre ela é definida como o fator solar, descrito pela Norma NBR 15220-1 (ABNT, 2005). O valor desse fator pode variar de uma superfície para outra, dependendo do tamanho e ângulo de incidência da energia solar sobre ela. A equação 4 a seguir pode ser usada para calcular o fator solar.

$$F = \tau + (U \times \alpha \times R_{se}) \quad (4)$$

Onde:

F = Fator solar;

τ = Transmissividade do material de fechamento;

U = Transmitância térmica do material de fechamento (W/m²K);

α = Absortividade da superfície externa do fechamento [valor tabelado];

R_{se} = Resistência superficial externa (m²K/W).

Assim, é fundamental conduzir uma avaliação crítica em relação ao tipo de fechamento escolhido. Um fator solar mais baixo é vantajoso para controlar a entrada de calor, contudo, é crucial equilibrar essa redução de calor com a entrada de iluminação, especialmente em fechamentos transparentes, a fim de evitar que a iluminação também seja drasticamente reduzida, como indicado por Lamberts (2016).

4.4.1.1.5 Resistência térmica

Segundo a NBR 15220-1 (ABNT, 2005), a resistência térmica é expressa como a relação entre a variação de temperatura das superfícies interna e externa de um componente ou elemento de construção e a densidade de fluxo de calor, portanto, a resistência é entendida como a capacidade que um elemento possui de dificultar a transmissão de calor de uma superfície para a outra.

Com isso a resistência térmica de um material é igual à dificuldade de transmissão de calor, e é definida pela norma como o quociente entre a sua espessura do material (e) e a sua condutibilidade térmica (λ), conforme a equação 5 a seguir.

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad (5)$$

Onde:

R = Resistência térmica (m² K/W);

e = Espessura do material (m);

λ = Condutividade térmica do material (W/mK).

4.4.1.1.6 Transmitância térmica

O conceito de transmitância térmica (U), em concordância com a NBR 15220-2 (ABNT, 2005) pode ser definido a quantidade de calor transmitida de uma superfície para a outra de um elemento construtivo por uma área de 1 m² em uma unidade de tempo. Essa propriedade é calculada a partir da resistência térmica do componente, conforme equação 6 apresentada abaixo:

$$U = \frac{1}{R} \quad (6)$$

Onde:

U = Transmitância térmica (W/m²K);

R = Resistência térmica.

A relação entre a transmitância térmica e a resistência térmica é inversamente proporcional, conforme ilustrado na equação anterior. Por meio dessa variável, torna-se viável avaliar como um fechamento se comporta em termos de transmissão de calor.

4.4.1.2 Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações

Esta seção da Norma "[...] estabelece procedimentos para o cálculo das propriedades térmicas – resistência, transmitância e capacidade térmica, atraso térmico e fator de calor solar – de elementos e componentes de edificações " (ABNT, 2005).

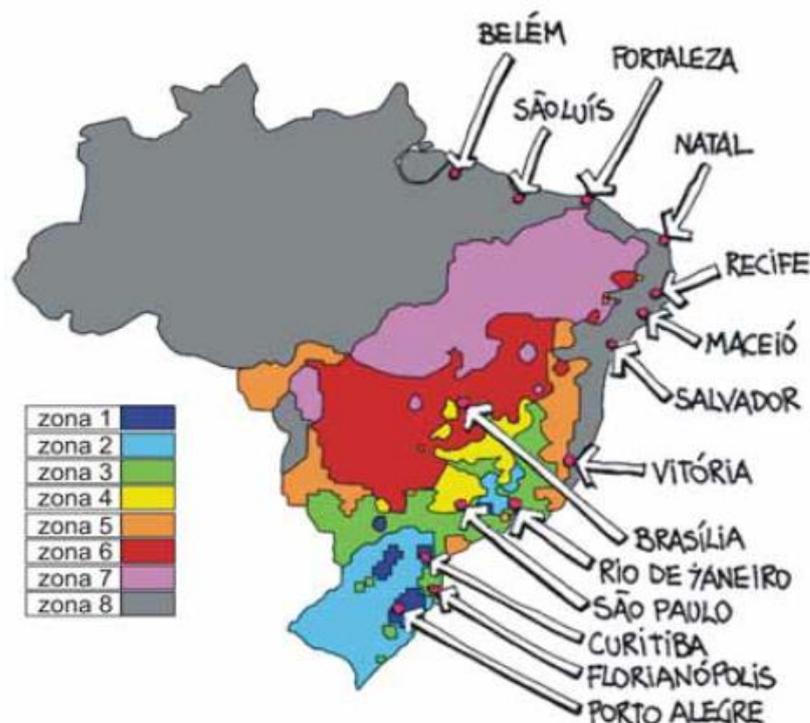
4.3.1.3 Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social

Esta parte da Norma “[...] estabelece um zoneamento bioclimático brasileiro abrangendo um conjunto de recomendações e estratégias construtivas destinadas às habitações unifamiliares de interesse social” (ABNT, 2005).

4.4.1.3.1 Zoneamento Bioclimático Brasileiro

A parte 3 da norma NBR 15220 (ABNT, 2005) determinou o zoneamento bioclimático brasileiro, subdividindo o país em oito Zonas Bioclimáticas, conforme ilustrado na Figura 3, essas oito zonas são estabelecidas com base nas condições climáticas e nas necessidades de conforto humano, e para cada uma dessas zonas, são identificadas estratégias consideradas apropriadas para serem adotadas em edificações.

Figura 3 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro



Fonte: Lamberts (2016)

Já a norma NBR 15220-1 (ABNT, 2005) define zona bioclimática como uma "região geográfica homogênea quanto aos elementos climáticos que interferem nas relações entre ambiente construído e conforto humano". O principal objetivo das orientações contidas nesta

norma é aprimorar os projetos de desempenho térmico de edificações, garantindo uma melhor adaptação ao clima local.

4.4.2 ABNT NBR 15575/2021 – Edificações habitacionais: Desempenho

No que diz com referência as edificações habitacionais a NBR 15575 (ABNT, 2021) determina os requisitos de desempenho no Brasil, ela foi criada com o propósito de melhorar a qualidade das construções, garantindo que as edificações atendam às necessidades dos usuários e proporcionem conforto e segurança.

A necessidade de estabelecer critérios mais específicos e rigorosos para o desempenho de edificações habitacionais levou à criação da versão atual da Norma em 2021. Esta evolução reflete os avanços na compreensão dos desafios enfrentados na construção de edifícios, bem como nas expectativas crescentes dos proprietários e usuários em relação à qualidade das edificações.

A Norma está dividida em 6 partes, cada uma abordando um aspecto específico do desempenho de edificações. São elas:

- Parte 1: Requisitos gerais;
- Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais;
- Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos internos;
- Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas;
- Parte 5: Requisitos para os sistemas de cobertura;
- Parte 6: Requisitos para os sistemas hidrossanitários.

Para garantir a satisfação das demandas dos usuários em uma edificação, é fundamental cumprir com os requisitos definidos para cada um deles.

Segundo as diretrizes da NBR 15575 (ABNT, 2021), os diferentes sistemas possuem requisitos mínimos de desempenho (M), que devem ser considerados e atendidos em todas as situações. Além disso, para incentivar a constante melhoria da qualidade das edificações, são estabelecidos níveis superiores ao mínimo, chamados de intermediário (I) e superior (S), os quais devem atender requisitos respectivamente mais elevados.

4.4.2.1 Desempenho térmico nas edificações

Nesta norma, está estipulado que o processo de avaliação do desempenho térmico de sistemas de vedações verticais externas, por meio de procedimento simplificado. Este procedimento permite a verificação de desempenho térmico no nível mínimo, que é de caráter obrigatório, por ora as avaliações dos níveis intermediários e superiores devem ser realizados por meio do procedimento de simulação computacional, conforme NBR 15575-1 (ABNT, 2021).

A NBR 15575 (ABNT, 2021) apresenta os valores de referência para a transmitância térmica de paredes externas (Figura 4), relacionados às zonas bioclimáticas e a absorvância à radiação solar. Além dos valores de referência para a capacidade térmica das paredes externas (Figura 5).

Figura 4 - Transmitância térmica de referência para paredes externas

Transmitância térmica de paredes (U_{par}) $W/(m^2.K)$		
Zonas bioclimáticas 1 e 2	Zonas bioclimáticas 3 a 8	
$U_{par} \leq 2,7$	$\alpha_{par}^a \leq 0,6$	$\alpha_{par} > 0,6$
	$U_{par} \leq 3,7$	$U_{par} \leq 2,5$
<p>^b α_{par} é a absorvância à radiação solar da superfície externa da parede. Recomenda-se a consideração da degradação do desempenho desta superfície, conforme ABNT NBR 15575-1:2021, 11.2</p> <p>Os limites de α_{par} estabelecem a transmitância térmica de referência que deve ser considerada nas paredes externas.</p> <p>No caso de paredes com superfície externa em chapas metálicas de qualquer natureza, com ou sem aplicação de pintura ou outro acabamento, a superfície externa deve apresentar valor de emitância térmica superior a 0,7, para as zonas bioclimáticas 3 a 8. O valor da emitância térmica deve ser comprovado por meio de laudo técnico conforme a ABNT NBR 15575-1:2021, Tabela 1.</p> <p>Unidades habitacionais com APP que adotarem valores de transmitância térmica de paredes externas que ultrapassem os limites desta Tabela devem ser avaliadas por meio do procedimento de simulação computacional, estabelecido na ABNT NBR 15575-1:2021, 11.4.</p>		

Fonte: NBR 15575-4 (ABNT, 2021)

Figura 5 - Capacidade térmica de referência para paredes externas

Tabela 14 – Capacidade térmica de referência para paredes externas

Capacidade térmica de paredes (CT_{par}) kJ/(m ² .K)	
Zonas bioclimáticas 1 a 7	Zona bioclimática 8
$CT_{par} \geq 130$	Sem requisito
Unidades habitacionais com APP que adotarem valores de capacidade térmica de paredes externas inferiores aos limites desta Tabela devem ser avaliadas por meio do procedimento de simulação computacional, conforme a ABNT NBR 15575-1:2021, 11.4	

Fonte: NBR 15575-4 (ABNT, 2021)

Os valores de capacidade térmica e transmitância térmica das paredes externas devem ser adquiridos por meio dos procedimentos descritos na NBR 15220-2 (ABNT, 2005) e necessitam atender os valores de referência apresentados nas figuras acima.

No caso de paredes que contenham em sua composição materiais isolantes térmicos com condutividade térmica igual ou inferior a 0,065 W/(m.K) e resistência térmica superior a 0,5 (m².K)/W, o cálculo da capacidade térmica deve ser efetuado excluindo todos os materiais voltados para o ambiente externo, posicionados a partir do isolante ou do espaço de ar conforme NBR 15575 (ABNT, 2021).

4.5 Fachadas ventiladas

A fachada é o elemento chave de uma construção. Como elemento estético, é nela que se manifestam as características arquitetônicas pensadas para a edificação, conforme afirmou Lopes (2021). Nesse contexto, a definição dos revestimentos, fechamentos e materiais utilizados são fundamentais, embora, em muitas ocasiões, essas escolhas sejam baseadas principalmente no aspecto estético, e não no sentido funcional da edificação. Aprofundando mais acerca de sua importância, a fachada é o elemento que faz o fechamento entre o espaço interno e o externo da edificação, tornando imperativo considerar aspectos fundamentais, como o conforto térmico e acústico, a estanqueidade e incidência solar.

Para Dutra (2010, p. 2):

A fachada é por excelência um elemento de valorização de um edifício. Para além de invólucro, a fachada é a “imagem”, é o primeiro impacto, pelo que é da maior importância que apresente um aspecto visual e estético agradável e atraente. Mas a fachada é também responsável pela garantia de conforto, tanto a nível hidrotérmico,

como a nível acústico.

Como observado por Lopes (2021), a partir dos princípios que enfatizam uma maior atenção ao desempenho construtivo das fachadas e dos materiais anteriormente empregados em suas execuções, deu-se início ao desenvolvimento dos processos de construção com revestimentos que não se aderem diretamente à estrutura. Atualmente, esses sistemas são conhecidos como fachadas não aderidas ou fachadas ventiladas.

Para Mendes (2009):

O adjetivo ‘ventilada’ deriva da câmara-de-ar que permite a ventilação natural e contínua da parede do edifício, através do efeito de chaminé onde o ar entra frio pela parte inferior e sai quente pela parte superior, deste modo, com o fluxo de ar da parede, evitam-se as comuns humidades e condensações características das fachadas tradicionais e consequentemente consegue-se um maior conforto térmico.

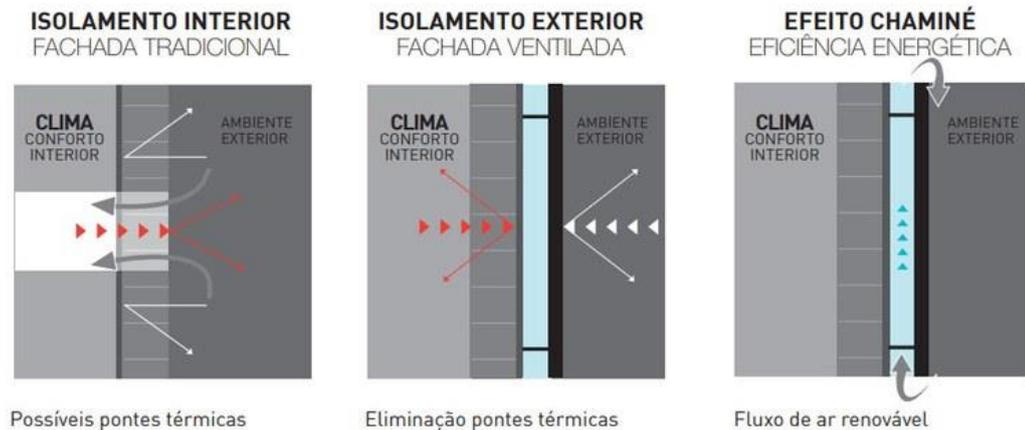
4.5.1 Funcionamento do sistema de fachadas ventiladas

O sistema de fachada ventiladas vem tendo uma grande crescente na arquitetura contemporânea, tanto por sua imagem estética, bem como pelas suas características técnicas, o respectivo sistema consiste num revestimento descontínuo fixado mecanicamente a uma estrutura independente (pontual ou linear) de suporte, um isolante térmico aplicado (por colagem ou por fixação mecânica) sobre o suporte de alvenaria e um espaço de ar ventilado entre ambos, Mendes (2009).

Nesse mesmo sentido, Lopes (2021), explica que o sistema de fachadas ventiladas consiste no revestimento externo, afastado da parede de fechamento, geralmente por uma superestrutura de alumínio e placas semirrígidas de isolamento térmico, as quais vem formar um espaço entre a parede e o revestimento externo onde há uma ventilação natural, denominado como efeito chaminé, produzido nesse espaço, gera uma ventilação contínua que elimina o estado gasoso transformando em líquido, mantendo o isolamento térmico seco, e obtendo melhor resultado econômico no consumo energético, ao trabalhar com o efeito chaminé, a principal característica funcional é buscar o conforto ambiental na parte interior da edificação, e focando em uma maior sustentabilidade do ambiente através da eficiência energética.

Neste comentário, buscando exemplificar o supracitado acima, segue Figura 6, que demonstram o funcionamento do efeito chaminé.

Figura 6 - Efeito chaminé



Fonte: ULMA Architectural Solutions

Ademais, Lopes (2021), além de apontar a importância energética, destaca ainda que o sistema também busca a estética, o que possibilita a utilização de diversos tipos de acabamentos, e inúmeras possibilidades de revestimentos finais.

4.5.2 Isolantes Térmicos

De acordo com Siqueira Jr. (2003), a utilização de isolamento térmico se faz essencial somente em climas específicos ou quando o revestimento exterior o requer. A principal vantagem do isolamento térmico reside na sua capacidade de reduzir a perda de calor no inverno, o que resulta em menores despesas com aquecimento, bem como na redução de calor intenso no verão, impactando positivamente os custos de resfriamento.

Conforme observado por Dutra (2010), os isolantes térmicos mais usados incluem a lã de rocha, o poliestireno expandido moldado (EPS), o poliestireno expandido extrudado (XPS) e o poliuretano.

4.5.2.1 Lã de rocha

Segundo indicado por Martins (2009), a lã de rocha é um material natural e inorgânico composto por fibras unidas através de uma resina termo endurecida, frequentemente referida como lã mineral. Possui características inerentes, como a sua resistência ao fogo, no entanto, sua exposição prolongada à umidade pode prejudicar seu desempenho. Essa é uma observação que Dutra (2010) complementa, destacando que a lã de rocha é um isolante amplamente

utilizado, notável também por suas propriedades isolantes acústicas. A característica incombustível desse material confere confiabilidade durante a instalação, aplicação e vida útil.

4.5.2.2 Lã de vidro

Conforme Dutra (2010), "a espuma de vidro é uma substância não inflamável e mantém sua estabilidade ao longo do tempo, sendo produzida por meio da expansão do vidro em altas temperaturas". De acordo com Martins (2009), ela é definida como "uma manta flexível composta por filamentos de vidro". Assim como a lã de rocha, a lã de vidro também apresenta propriedades incombustíveis.

4.5.2.3 Poliestireno extrudido (XPS)

O isolante XPS é produzido em placas rígidas de espuma com uma estrutura celular fechada, o que resulta em uma absorção insignificante de água e umidade. Essa substância exibe características notáveis, como elevada resistência química e à compressão, além de durabilidade durante o manuseio na construção (DIREITO, 2011). Conforme Dutra (2010), o poliestireno extrudido demonstra "excelentes propriedades térmicas, impermeabilidade à água, alta resistência à passagem de vapor, grande capacidade de carga, durabilidade e facilidade de instalação."

Ademais, Direito (2011), enfatiza que a aplicação desse material é simples e eficiente em obras, devido ao baixo peso das placas, tornando-o preferível ao poliuretano projetado. Como observado por Martins (2009), o poliestireno extrudido é classificado como um isolante termoplástico de origem polimérica, o que o distingue dos isolantes termorrígidos, uma vez que pode ser aquecido e moldado. Contudo, em situações de incêndio, esse material tende a se tornar líquido e escorrer, resultando em sua classificação como um isolante térmico inflamável com baixa resistência ao fogo.

4.5.2.4 Poliestireno expandido (EPS)

Um dos isolantes usado nas fachadas é o poliestireno expandido, vejamos seu conceito:

O poliestireno expandido (EPS) é um dos materiais mais utilizados para isolamento térmico. O uso de poliestireno expandido tem várias vantagens, tais como: baixa condutibilidade térmica, leveza, fácil manuseamento, resistente ao envelhecimento, higiênico e totalmente inócuo. (DUTRA, 2010).

Para Martins (2009), como apresentado para o poliestireno extrudido, o mesmo cenário se aplica ao poliestireno expandido, uma vez que, devido à sua natureza termoplástica, ele é um isolante térmico inflamável com uma resposta desfavorável diante do fogo.

4.5.2.5 Poliuretano

Passamos a descrever o isolante poliuretano, que para Dutra (2010, p. 2):

O poliuretano apresenta as seguintes características: facilidade de montagem, baixa condutibilidade térmica, alta resistência térmica, evita condensações, não atrai insetos, facilidade de limpeza, insensibilidade à água, imputrescibilidade, facilidade de instalação.

4.5.2.6 Poliuretano projetado (PUR)

O Poliuretano projetado, conhecido como PUR, é aconselhado para edifícios que apresentam amplas fachadas ventiladas, devido à sua aplicação rápida e capacidade de manter uma superfície contínua sem juntas (DIREITO, 2011). Já Dutra (2010) destaca que as principais características desse isolante, incluem impermeabilidade, leveza, propriedades acústicas, aplicação sem interrupções e baixa condutividade térmica. Segundo Direito (2011), a espuma rígida de poliuretano projetado também possui baixa permeabilidade ao vapor de água, reduzindo a condensação e inibindo o crescimento de microrganismos, evitando assim o desenvolvimento de fungos e bactérias.

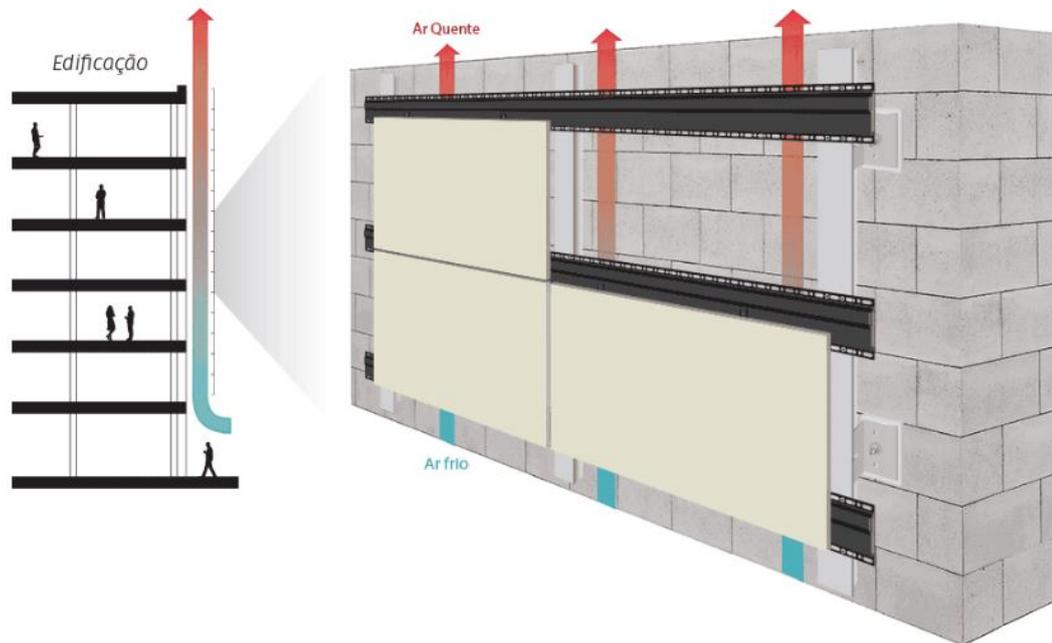
A classificação por Martins (2009), o poliuretano projetado é categorizado como um isolante termorrígido. Esses isolantes são compostos por polímeros que passam por um processo industrial de aquecimento até se tornarem líquidos e reagirem entre si. Após a solidificação, essa mistura não pode mais retornar ao estado líquido.

4.5.3 Câmara de ar

Como mencionado anteriormente, o sistema de fachada ventilada se caracteriza pela presença de uma câmara de ar situada entre a camada de revestimento externo e o isolamento térmico ou substrato, permitindo a ventilação, indicado na Figura 7. Sousa (2016) observa que esse sistema tem ganhado relevância devido à redução da umidade na câmara de ar por meio da ventilação, o que proporciona benefícios no que diz respeito ao desempenho térmico e à estanqueidade das edificações. Além disso, Direito (2011) acrescenta que o fluxo de ar tem como principal finalidade garantir a durabilidade do sistema, permitindo a evacuação do vapor

de água e prevenindo a formação de condensação no interior. É possível identificar dois tipos de ventilação em tecnologia de fachadas ventiladas: ventilação natural e ventilação mecânica.

Figura 7 – Câmara de ar e efeito chaminé



Fonte: Eliane TEC (2022)

4.5.3.1 Ventilação natural

A variação das temperaturas na superfície da Terra decorre dos movimentos das grandes massas de ar e da maneira como a radiação solar é recebida de forma variável em diferentes regiões. A partir dos dados climáticos coletados, é possível obter informações sobre o comportamento da temperatura do ar em um local específico ao longo do ano. O tratamento desses dados climáticos pelo projetista servirá como base para identificar os momentos em que o desconforto térmico é mais provável, e onde intervenções nos projetos serão necessárias. É crucial lembrar que, para uma mesma temperatura, a sensação de conforto térmico pode variar para o usuário devido a fatores como vento e umidade locais (LAMBERTS, 2016).

No contexto da análise de fachadas ventiladas, a compreensão do mecanismo de funcionamento exige uma investigação das maneiras pelas quais o calor é transferido. Em sua obra sobre ventilação, Costa (2005), discorre que o calor pode ser transmitido por convecção, condução e radiação. Em essência, esse processo depende da existência de diferenças de

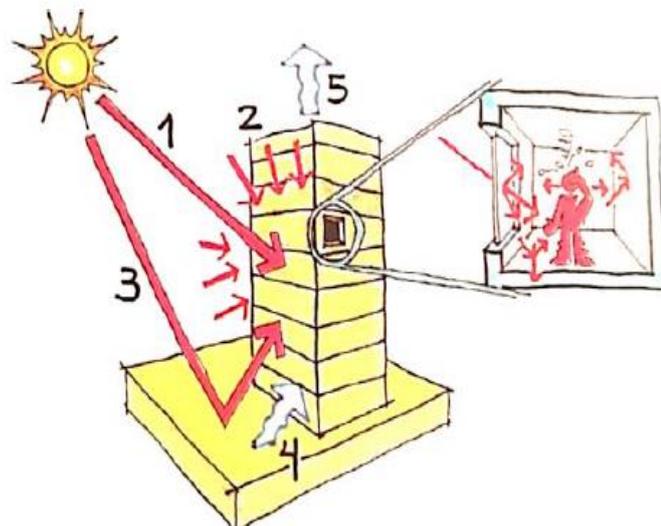
temperatura entre dois ambientes, visto que o fluxo de calor ocorre sempre do ambiente mais quente para o mais frio.

Seguindo o posicionamento de Costa (2005), o autor explica que a condução é o método de transferência de calor por contato direto, enquanto a convecção envolve a passagem de calor de um corpo para outro por meio de um fluido. Lamberts (2016), ressalta que a radiação solar é um dos principais contribuintes para o ganho térmico em edifícios. No contexto da escala de uma construção, a transferência de calor por radiação pode ser subdividida em cinco componentes principais.

Radiação solar direta (onda curta) (1), radiação solar difusa (onda curta) (2), radiação solar refletida pelo solo ou pelo entorno (onda curta) (3), radiação térmica emitida pelo solo aquecido e pelo céu (onda longa) (4) e radiação térmica emitida pelo edifício (onda longa) (5). As duas primeiras (1 e 2) são variáveis microclimáticas. A radiação de onda curta refletida pelo solo e pelo entorno (3) depende das características da superfície refletora. Após receber a radiação solar, o solo se aquecerá, emitindo em seguida radiação térmica de onda longa (4). Esse fenômeno também ocorre com a edificação (5). (LAMBERTS, 2016, p. 129)

De acordo com as pesquisas de Lamberts (2016), " a radiação solar de onda curta que entra por uma abertura no edifício incide nos corpos, que se aquecem e emitem radiação longa". O vidro, sendo praticamente impermeável à radiação de comprimento de onda longo, impede a passagem do calor para o exterior, resultando no superaquecimento do espaço interno. Esse fenômeno é conhecido como o efeito estufa e representa o principal mecanismo de conversão da radiação solar em calor dentro de uma construção, como pode ser observado na Figura 8.

Figura 8 – Trocas de calor em edifícios e efeito estufa

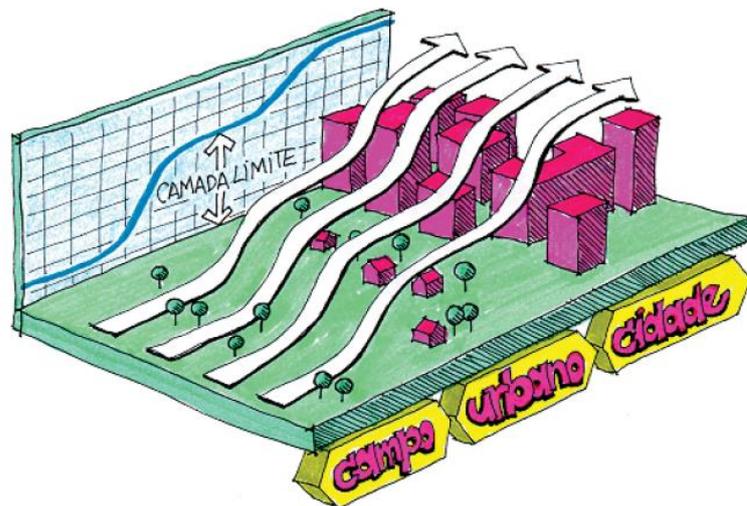


Fonte: Lamberts (2016)

Consoante, Maciel (2013) destaca, “o uso favorável da ventilação natural e a seleção adequada de materiais de construção e sistemas construtivos podem determinar que o ambiente construído seja termicamente confortável”.

As condições do vento local podem ser modificadas devido à presença de elementos como vegetação, estruturas construídas e outros obstáculos naturais ou artificiais. É possível aproveitar o perfil topográfico do terreno para direcionar ou redirecionar os ventos em relação à edificação. Além disso, a rugosidade da superfície exerce um impacto significativo no movimento do ar, e, de modo geral, a velocidade do vento aumenta com a altitude. Contudo, devido aos obstáculos comuns em ambientes urbanos, como edifícios, a velocidade média do vento é menor em comparação a áreas desobstruídas, como campos. O tamanho desses obstáculos influencia o gradiente vertical, conforme mencionado por Lamberts (2016). O comportamento do vento pode ser observado na Figura 9.

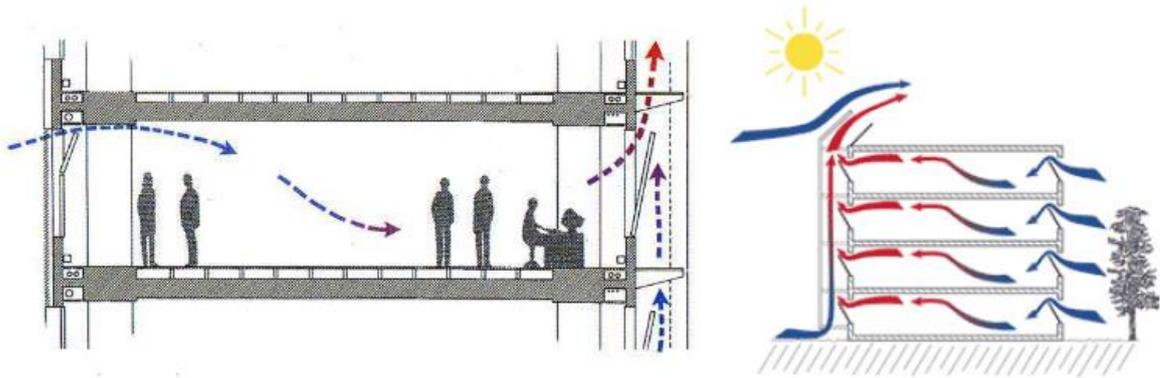
Figura 9 - Vento e rugosidade do terreno



Fonte: Lamberts (2016)

A ventilação natural é definida pelo seu efeito chaminé, como explicado por Direito (2011). Esse efeito é responsável pela convecção do ar quente na câmara de ar, devido à variação de densidade do ar, resultando na remoção do vapor de água presente nas paredes. O esquema que ilustra a ventilação natural em edifícios pode ser visualizado na Figura 10.

Figura 10 – Ventilação natural em edifícios



Fonte: Direito, 2011.

Seguindo nessa linha, Direito (2011), observa para que esse sistema seja eficaz, é imperativo que as aberturas de entrada e saída de ar sejam mantidas limpas e desobstruídas por meio de manutenção regular, garantindo assim um fluxo de ar contínuo. Esse movimento de ar dentro da câmara pode ser induzido tanto pelo mencionado efeito chaminé quanto pela pressão do vento. Quando o vento atinge a fachada, ele pode criar diferentes pressões entre a entrada e a saída da câmara, promovendo a circulação do ar. É importante ressaltar que as pressões geradas pelo efeito chaminé não deve ser anuladas pela ação do vento, razão pela qual é recomendada uma espessura mínima de 30mm para a câmara de ar.

4.5.4 Materiais usados como revestimento de fachadas

Para Sousa (2010), são destaques os materiais como cerâmica, porcelanato, pedra natural, alumínio e vidro são comumente utilizados devido à sua durabilidade, resistência às intempéries e estética atrativa. Além disso, esses materiais contribuem para o isolamento térmico e acústico dos edifícios, reduzindo o consumo de energia e proporcionando maior conforto aos ocupantes. A utilização de fachadas ventiladas com materiais adequados é uma estratégia importante para promover a eficiência energética e a sustentabilidade nas construções modernas.

4.5.4.1 Alumínio Composto (ACM)

A principal característica do alumínio é ser conhecido como um material extremamente durável, independente das condições em que ele é encontrado. As placas de alumínio composto

(ACM – Aluminium Composite Material) surgem a partir da combinação de duas chapas de alumínio e um núcleo de polietileno, o que garante uma maior rigidez (MENDES, 2009).

Ainda segundo Mendes (2009), o alumínio possui inúmeras vantagens, vejamos:

- Excelente resistência ao fogo;
- Grande resistência ao impacto;
- Fácil adaptação junto a janelas e cantos.
- Resistência às condições ambientais extremas;
- Alta maleabilidade do material, possibilitando sua moldagem em diversas formas;
- Leveza do material, reduzindo cargas da estrutura e custos de fabricação e instalação.

4.5.4.2 Cerâmica

A cerâmica nas fachadas ventiladas se torna um sistema muito eficiente em relação ao comportamento higrotérmico de um edifício, sendo uma solução que une as propriedades de inércia térmica do cerâmico com a as vantagens desse sistema construtivo. As vantagens mais significativas do revestimento de cerâmica são; a aplicabilidade sobre qualquer suporte existente, segurança na utilização, facilidade de manutenção, execução rápida, maior conforto ambiental no interior do edifício, ausências de eflorescências, e pôr fim a rápida substituição de peças (CONSTRULINK, 2006).

A Construlink (2006), aponta que a solução mais habitual nesse tipo de fachada é composta por uma perfilaria de suporte fixada ao pano de parede, onde este é propriamente isolado pelo exterior. São através de encaixes metálicos que esses painéis são acoplados aos perfis, recentemente houve o desenvolvimento de sistemas de fixação para grandes peças, o que irá garantir uma maior facilidade de manutenção, conforto térmico, confiança no momento da aplicação, e também uma maior segurança com relação aos desprendimentos das peças.

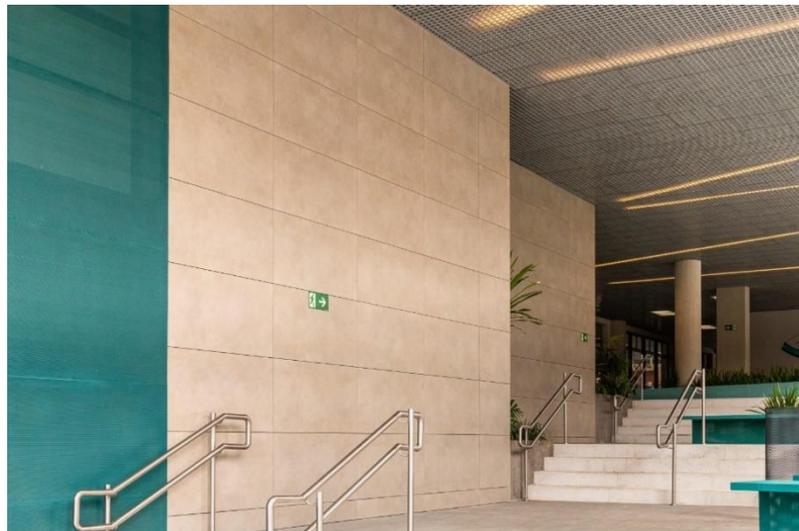
Localizado no centro da cidade de São Paulo, o Hotel Alameda Santos (Figura 11) utilizou a fachada ventilada com painéis cerâmicos da Portobello. Ao todo já são mais de 100 fachadas ventiladas pela Portobello em todo o Brasil, como o Residencial Misce Vila Madalena (SP) conforme Figura 12 e, Shopping Catarina Fashion Outlet (Figura 13).

Figura 11 - Hotel Alameda Santos (SP)



Fonte: Revestindo a Casa (2022)

Figura 12 - Residencial Misce Vila Madalena (SP)



Fonte: Revestindo a Casa (2022)

Figura 13 - Shopping Catarina Fashion Outlet (SC)



Fonte: Folha de Alphaville (2020)

4.5.4.3 Concreto Polimérico

O revestimento por placas em concreto polímero utilizadas em fachadas ventiladas são uma combinação entre quartzo e agregados de sílica, conectadas por resinas de poliéster estável, a partir dessa mistura é obtido um material com extrema resistência mecânica, sendo quatro vezes maior do que o concreto convencional, o que gera uma redução da seção e peso das peças pré-fabricadas (CONSTRULINK, 2006).

O mesmo autor ainda discorre sobre a possibilidade de utilização desse material em grande escala, bem como a sua baixa absorção de água que irá garantir uma boa estanqueidade. Ademais, o concreto polimérico tem fácil manutenção em razão da sua baixa porosidade.

Uma grande vantagem apresentada pelo Concreto Polímero é a possibilidade de uma superfície perfeitamente plana. Bem como, esse tipo de revestimento se torna aplicável em qualquer tipologia de construção: residencial (Figura 14), uni ou multifamiliar, comerciais, hospitais, indústrias etc. (CONSTRULINK, 2006).

Figura 14 – Fachada ventilada em concreto polímero



Fonte: ULMA Architectural Solutions

4.5.4.4 Madeira

De acordo com Sousa (2010), a utilização de madeira na fachada pode ser categorizada em dois grupos: madeira maciça e derivados de madeira.

As madeiras maciças aplicadas em fachada são designadas de madeiras modificadas, pois são tratadas de forma a adquirir propriedades que permitam resistir aos agentes exteriores, mantendo-se inalteradas mesmo em condições climáticas adversas, sem necessitar de grande manutenção. O processo de modificação submete a madeira em estado bruto a elevadas temperaturas para que a maior parte da umidade desapareça e a torne mais resistente [...]. Os derivados de madeiras aplicáveis em fachada são os contraplacados, painéis aglomerantes, OSB, MDF, placas de densidade elevada e painéis de partículas de madeira aglutinadas com cimento (SOUSA, 2010, p. 41).

Segundo o autor mencionado anteriormente, as dimensões dos elementos de madeira maciça são determinadas pelo tamanho dos troncos, podendo variar desde dimensões menores, como escamas ou ripados, que representam a abordagem mais convencional. A Figura 15 apresenta uma fachada ventilada em madeira com um design moderno.

Figura 15 – Fachada ventilada em madeira



Fonte: Construir (2021)

4.5.4.5 Pedras Naturais

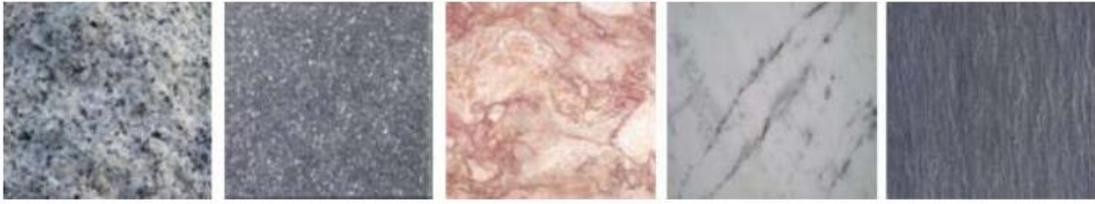
Neste comentário, iremos dissertar sobre pedras naturais, onde Dutra (2010, p. 9) destaca que:

Os revestimentos de fachada ventilada em pedra natural apresentam-se com uma solução versátil, de origem natural e revelam uma elevada durabilidade e resistência. Oferecem elevadas vantagens, tanto do ponto de vista estético, como do ponto de vista da valorização do patrimônio.

Seguindo a mesma direção de pensamento do autor mencionado, um dos principais aspectos desfavoráveis desse tipo de revestimento reside na complexidade de prever como ele responderá a diversas condições durante sua vida útil. Ainda sobre pedra naturais, Cunha (2006), muitos dos materiais de pedra natural empregados na construção de fachadas ventiladas apresentam um comportamento característico ao serem expostos a intempéries, absorvendo água rapidamente por capilaridade e liberando-a de forma muito lenta por meio da evaporação.

A Figura 16 mostra uma variedade de pedras que têm a capacidade de servir como revestimento para o sistema de Fachada Ventilada em pedra natural.

Figura 16 – Granito, basalto, calcário, mármore e ardósia

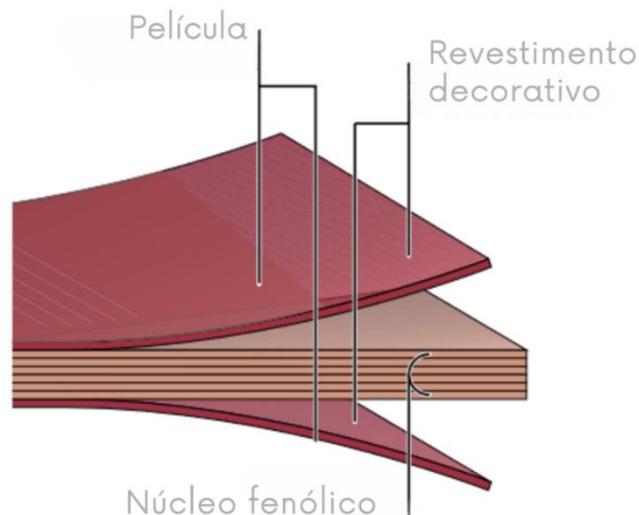


Fonte: Souza (2010)

4.5.4.6 Placas Fenólicas

Os compostos fenólicos são substâncias de origem natural e formam a base para a criação de uma resina plástica extremamente resistente. Durante o processo de transformação de aglomerados de madeira, essa resina pode ser empregada como adesivo interno para as fibras, conferindo uma notável resistência química e mecânica a esses aglomerados, conforme mencionado por Construlink (2006). Os painéis fenólicos consistem essencialmente em três componentes, como ilustrado na Figura 17.

Figura 17 – Camadas de uma placa fenólica



Fonte: adaptado de Archdaily (2020)

1. Película protetora: película impregnada em resina melamínica;
2. Revestimento decorativa: composta por uma folha de papel com o desenho desejado ou folha de madeira natural, encharcada por resina melamínica, que garante uma alta resistência à abrasão;

3. Núcleo fenólico: composto por folhas de papel Kraft recobertas com resinas fenólicas que o dão estabilidade e rigidez.

Para que essas camadas se unam e, posteriormente, endureçam, é aplicado um tratamento especial sob altas pressões e temperaturas. O resultado é um material uniforme, de superfície plana e regular, quase desprovido de poros. É uma substância altamente versátil, disponível em várias cores, dimensões e formatos, permitindo sua aplicação tanto em superfícies verticais quanto horizontais, assim apontado por Dutra (2010).

4.5.4.7 Vidro

O Sistema de Fachada Ventilada com vidro, é destacado por Souza (2010), em termos de aparência, compartilha semelhanças com uma fachada cortina - um tipo de fachada não aderida que não inclui uma câmara de ar interna. Quando se opta por usar vidro como revestimento (Figura 18), é essencial planejar a limpeza da superfície interna, assegurando acesso por meio de aberturas técnicas. Continuando na linha do mesmo autor, esse tipo de revestimento é frequentemente empregado em *retrofit* de edifícios, particularmente em situações em que a manutenção da fachada original não é necessária.

Os tipos de vidro mais comuns utilizados na fachada ventilada incluem vidros impressos, refletivos, temperados, laminados e aramados. No entanto, a incorporação de vidro duplo não se mostra apropriada para o sistema, uma vez que a câmara de ar já proporciona os benefícios desejados em termos de isolamento térmico e acústico, como afirmado por Sousa (2010).

Figura 18 – Fachada ventilada revestida em vidro



Fonte: Viva Decora (2020)

4.6 Software EnergyPlus

A simulação computacional pode ser realizada através de softwares que permitem a avaliação do impacto das variáveis arquitetônicas no consumo de energia e no desempenho térmico de edificações, conforme observado por Mota (2016). Inclusive o autor Carlo (2008), destaca o EnergyPlus como um software capaz de simular o desempenho térmico e energético, abrangendo todos os sistemas da edificação, como climatização, iluminação, cargas internas e propriedades térmicas de materiais.

Ainda mais, Ferreira (2006) explica que o software opera com base em um banco de dados específico da edificação em estudo, utilizando informações sobre os sistemas construtivos, elétricos e mecânicos, juntamente com os padrões de uso correspondentes. Conforme mencionado por Andreolli (2017, p. 43):

O EnergyPlus é um programa de análise de consumo energético de edificações capaz de modelar as 8760 horas de um ano com variações de ocupação, potência de iluminação, equipamentos, sistema de HVAC, efeitos de inércia térmica e é validado pela norma ASHRAE 140. O programa é capaz de modelar aquecimento, arrefecimento, ventilação e outras correntes energéticas levando em consideração os consumos de energia e calculando as cargas térmicas necessárias para se atingir as temperaturas estabelecidas em controle.

No que se refere a realização das simulações computacionais a Norma NBR 15575 (ABNT, 2021) recomenda o software EnergyPlus, em razão do mesmo ser o mais confiável e utilizado no mundo, pois, está em concordância com as Normas ASHRAE 90.1:1999 e ASHRAE 140:2004 (FERMIANO, 2020).

4.6.1 Medições *in loco*

O processo de realizar medições *in loco* de temperatura em edificações tem o objetivo de avaliar as condições térmicas do ambiente, e determinar se os requisitos estipulados nas Normas para o desempenho térmico estão sendo devidamente cumpridos. As medições de temperatura e umidade do ar podem ser realizadas usando termômetros, seja com ou sem proteção contra a radiação térmica.

Essas medições permitem avaliar na prática, a sensação térmica sentida pelos usuários do ambiente, porém, é importante ressaltar que a precisão dos resultados obtidos é limitada devido às influências do ambiente externo. Como afirmado por Madruga (2016), “realizar as medições *in loco* de forma confiável, é uma tarefa difícil pela dificuldade de controlar as condições do local”.

5 METODOLOGIA

A metodologia proposta para este trabalho, se baseou através de procedimentos e análises experimentais, os quais permitiram verificar a influência dos sistemas de fachada e dos materiais de revestimento externo no conforto térmico da edificação. Assim como realizar uma comparação entre o sistema clássico de revestimento em fachada e fachada ventilada.

Os procedimentos adotados para alcançar o objetivo desta pesquisa estão divididos em três etapas:

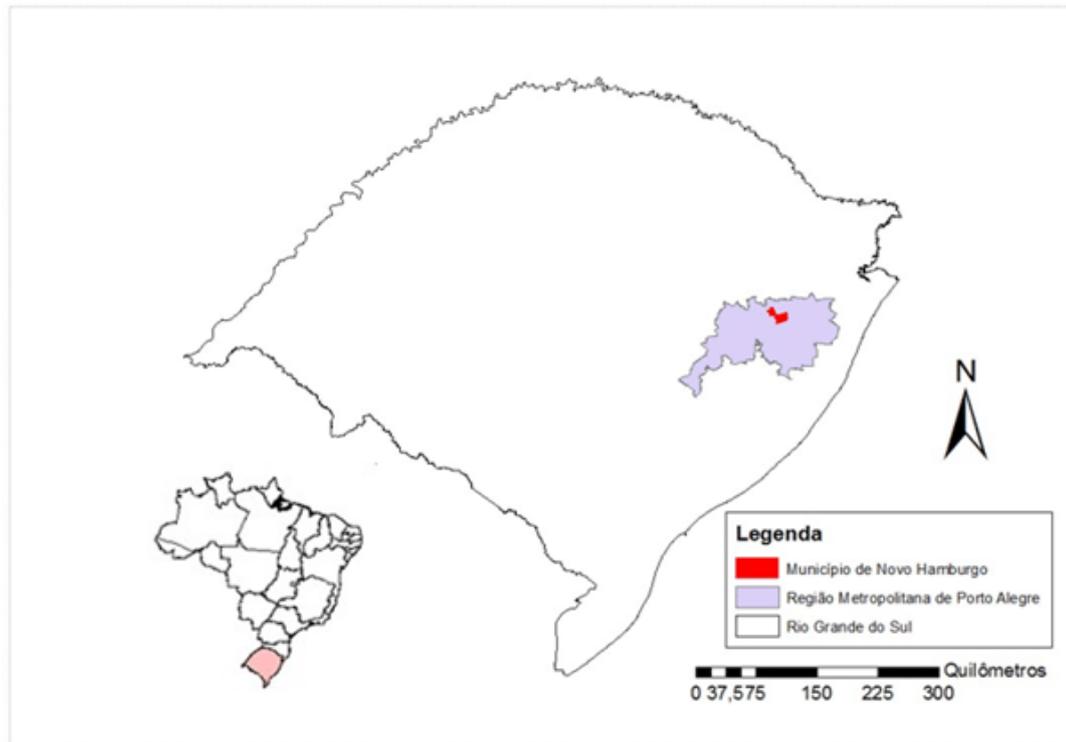
1. Definição da área de estudo e caracterização climática;
2. Caracterização da tipologia de edifício e sistemas de fachada;
3. Avaliação de desempenho térmico.

Diante disso, a primeira etapa identificou a localização do objeto de estudo dentre as oito zonas bioclimáticas brasileiras, visto que as exigências da norma estão atreladas as características do local. Em seguida, houve a necessidade de caracterizar os materiais e métodos construtivos da edificação, além da definição de quais ambientes serão simulados. As propriedades térmicas dos materiais construtivos, tais como, calor específico, condutividade térmica e densidade estipulam-se através da ABNT NBR 15220/2005.

5.1 Coleta de dados

A pesquisa se desenvolveu na cidade de Novo Hamburgo, localizada na região Sul do Brasil (Figura 19), no estado do Rio Grande do Sul (RS). A cidade é caracterizada por um clima subtropical, com temperaturas médias, normalmente, inferiores a 20°C. Novo Hamburgo possui atualmente uma população estimada em cerca de 227.646 habitantes, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022). A pesquisa foi realizada no Residencial Ibiza, no bairro Operário.

Figura 19 - Localização do Estado do RS no Brasil e da cidade Novo Hamburgo



Fonte: ResearchGate (2023)

5.2 Definição da zona bioclimática

A classificação bioclimática é realizada com base na norma ABNT NBR 15220-3/2005. Desta forma, a zona bioclimática utilizada para a análise deste trabalho é a 2, a qual abrange as cidades de Novo Hamburgo, Santa Maria, Pelotas, Passo Fundo, Bagé, entre outras.

5.2.1 Arquivo climático

A ABNT NBR 15575-1/2021 fornece os dados climáticos para algumas cidades brasileiras, porém na falta de dados de arquivos climáticos da cidade onde se encontra a edificação de estudo, a norma permite utilizar dados de cidades com características climáticas semelhantes. Segundo dados do Projetee, Novo Hamburgo/RS não possui dados bioclimáticos disponíveis, sendo necessário utilizar os dados de Tramandaí/RS, conforme indicado na Figura 20.

Figura 20 – Dado climáticos

Fonte: Projetee (2024)

5.3 Simulação Termo Energética

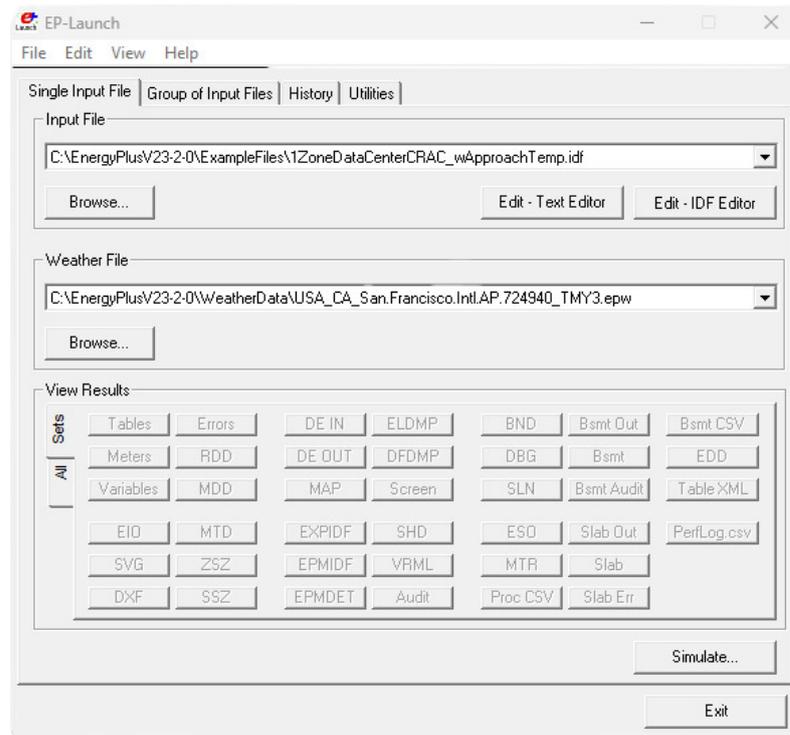
As simulações termo energéticas são capazes de calcular as trocas térmicas entre o exterior e o interior de uma edificação, com um bom grau de precisão. Para isso é necessário informações sobre o clima local, a geometria do edifício e as características de seus materiais. Com estes dados, o resultado será as temperaturas do ar no interior dos ambientes, para cada hora de 365 dias.

5.3.1 *EnergyPlus*

As análises de desempenho térmico se basearam em simulações computacionais, por meio do software *EnergyPlus* (versão 23.2.0), disponível no site www.energyplus.net. Além de ser um dos softwares mais utilizados no mercado, possui validação pela norma americana *ASHRAE 140*, cumprindo os requisitos da norma de desempenho brasileira. A figura 20 mostra a *EP-Launch*, a interface principal do programa.

O programa permite desenvolver estudos relacionados a melhorias na eficiência energética de edificações, possibilitando modelar edificações completas, considerando diferentes dimensões, fechamentos opacos e transparentes, equipamentos elétricos, taxa de ocupação, taxa de ventilação, entre outros.

Figura 21 - EP-Launch



Fonte: Autora (2023)

A simulação é iniciada no campo "*Simulate*", enquanto os resultados são visualizados no campo "*View Results*".

Em seguida, é possível acessar o editor IDF, onde, a partir de um arquivo IDF (*Input Data File*), pode-se fazer as alterações geométricas, físicas, de equipamentos e ocupação que são necessárias. É nesta etapa que serão adicionados, também, as informações sobre clima, materiais e métodos construtivos utilizados.

Definido a simulação para o arquivo climático e o período de simulação, foi possível executar o programa. Foram gerados os resultados em um arquivo do tipo *.csv*, o qual pode ser aberto, por exemplo, no Excel. A primeira coluna da planilha corresponde à data e à hora, já as colunas seguintes correspondem às variáveis solicitadas no arquivo IDF. Com estes dados, pode-se traçar gráficos com os dados de temperatura e radiação solar, por exemplo.

5.3.2 *Inputs* de simulação

Para conduzir a simulação no EnergyPlus, foi necessário fornecer dados de entrada, tais dados, conhecidos como *inputs*, foram inseridos à simulação com o objetivo de calcular as temperaturas estimadas nos ambientes da edificação. São requeridos quatro *inputs*:

1. **Geometria do edifício:** modelo tridimensional contendo todos os elementos sólidos opacos, vidros e demais componentes arquitetônicos, como brises ou edificações vizinhas, implantados de acordo com a orientação solar;
2. **Materiais:** dados de transmitância, capacidade térmica e absorvância de paredes internas, externas e cobertura, e desempenho térmico de vidros;
3. **Taxa de ventilação:** a ABNT NBR 15575/2021 determina para os ambientes uma taxa fixa de renovação de ar de 1 ren/h;
4. **Dados climáticos:** temperatura do ar externo, nebulosidade e radiação de dias típicos de verão e inverno para a localidade.

Os dados climáticos são um dos parâmetros mais importantes na simulação térmica dos edifícios, especialmente quando visa compreender o desempenho em situações de aquecimento e/ou resfriamento, assim como o dimensionamento de sistemas de climatização.

Para atender às necessidades e preferências do usuário, o site distribuidor do *EnergyPlus* oferece dois tipos de arquivos. Um deles contém dados climáticos em tempo real obtidos de estações meteorológicas estrategicamente localizadas, enquanto o outro se baseia em dados estatísticos relacionados ao país e à zona em análise. Neste estudo, optou-se pelo arquivo climático elaborado estatisticamente, implicando que a simulação reflete um ano típico e não está vinculada especificamente ao ano da dissertação em questão.

As informações básicas incluídas, no ficheiro climático em uso, são a localização, fonte dos dados, latitude, longitude, altitude, informações de horários, condições extremas (máximos e mínimos), dias especiais (feriados), luminosidade, períodos típicos e extremos e temperaturas do solo.

Os intervalos de tempo incluem temperaturas secas, temperaturas ponto de orvalho, humidade relativa, pressão atmosférica, radiação solar (terrestre, infravermelha, direta e difusa), luminância, direção e velocidade do vento, nuvens e dados do estado do tempo.

A fonte desses dados é também mencionada no site e refere-se a dois anos de arquivos/dados produzidos no Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação (INETI). Esses dados têm como base informações meteorológicas públicas divulgadas pelo instituto de meteorologia, combinadas com dados coletados pelo próprio INETI. Esses dados foram convertidos para o formato suportado pelo programa (.epw). O formato do arquivo climático é TMY (*Typical Meteorological Year*).

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O estudo de caso deste trabalho são as fachadas do Residencial Ibiza, situado na rua Henri Dunant, no bairro Operário, em Novo Hamburgo. O prédio possui dez pavimentos, e está sendo executado pela Baliza Construtora. Visualiza-se a localização do edifício na Figura 22, e o projeto da fachada frontal do edifício está apresentado na Figura 23.

Figura 22 – Localização Residencial Ibiza



Fonte: Baliza Construtora (2023)

Figura 23 - Fachada do empreendimento Residencial Ibiza



Fonte: Baliza Construtora (2023)

A modelagem inicial foi realizada com base na estrutura atual da edificação, sem considerar interferências construtivas ou sugestões de adequação. As simulações obedeceram aos requisitos da ABNT NBR 15575/2021, e como referências foram utilizados os arquivos com propriedades térmicas de materiais do INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial) e a apostila da disciplina Conforto e Desempenho Térmica de Edificações do Centro de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Federal de São Carlos, vinculado ao Programa de Pós-Graduação em Construção Civil.

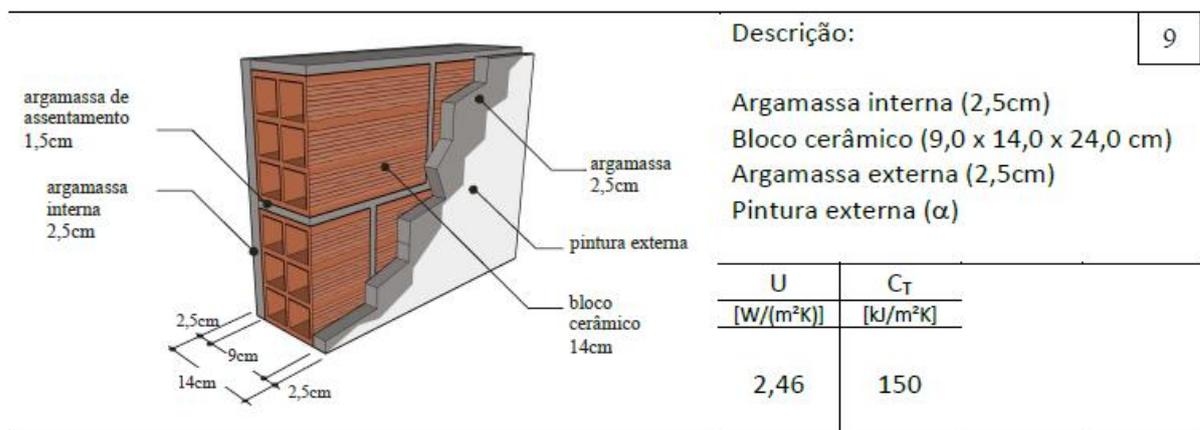
A NBR 15575 (ABNT, 2021) define três categorias de desempenho: Mínimo (M), Intermediário (I) e Superior (S). Para cada uma destas categorias, foram estabelecidos critérios específicos. O nível Mínimo, busca explorar o potencial bioclimático da edificação, considerando apenas os dados de simulações que envolvem ventilação natural. Assim, para alcançar a aprovação neste nível, é necessário que o PHFT real supere o PHFT de referência. Além disso, a Tom_{ax} real deve ser menor que a Tom_{ax} referência, com uma margem de tolerância de 1°C. Nas ZBs 1 a 3, também se exige que a Tom_{in} real seja superior à Tom_{in} referência, após reduzido 1°C.

Os resultados das simulações geraram arquivos .csv, contendo as temperaturas internas dos ambientes sala de estar e dormitório, conforme sua zona climática. Posteriormente, os valores foram filtrados para criar uma nova planilha que compara os resultados obtidos com os valores de referência. Este processo permitiu uma análise detalhada das variações de temperatura em diferentes orientações solares, oferecendo uma visão clara sobre o desempenho térmico dos ambientes analisados.

6.1 Revestimento argamassado com pintura de cor escura

Como indicado na Figura 24, o modelo de fachada inclui uma camada de argamassa interna de 2,5 cm, um bloco cerâmico de 9 cm, e por fim uma camada de argamassa externa de 2,5 cm, além de uma pintura externa. O coeficiente de transmissão térmica (U) é de 2,46 W/(m²K) e a capacidade térmica (CT) é de 150 kJ/(m²K), o que fornece uma base para entender o comportamento térmico das fachadas argamassadas com pintura de cor escura.

Figura 24 - Modelagem de fachada com revestimento argamassado e pintura



Fonte: INMETRO (2013)

6.1.1 Orientação solar norte

Os resultados das simulações para a orientação norte com revestimento argamassado com pintura de cor escura indicam algumas diferenças notáveis entre a UH de referência e a UH real. As métricas alcançadas na Figura 25, incluem o Percentual de Horas de Ocupação dentro de uma Faixa de Temperatura Operativa (PHFT UH), a temperatura operativa anual máxima (Tomáx, UH) e a temperatura operativa anual mínima (Tomín, UH).

Para a UH de referência, o PHFT UH é de 68,29%, enquanto para a UH real, esse valor é ligeiramente superior, atingindo 71,68%. Isso sugere que a UH real mantém uma faixa de temperatura confortável por uma porcentagem maior de tempo em comparação com a UH de referência. Esse aumento na porcentagem pode ser atribuído à eficiência do revestimento argamassado com pintura de cor escura em moderar a temperatura interna.

A Tomáx para a UH de referência é de 30,19 °C, em contrapartida para a UH real, essa temperatura é um pouco mais alta, chegando a 31,74 °C. Esse aumento na temperatura máxima pode ser uma consequência da absorção de calor pela pintura de cor escura, que tende a reter mais calor do que cores mais claras. Embora a temperatura máxima seja ligeiramente mais alta, ainda está dentro de uma faixa aceitável para o conforto térmico, dependendo das condições climáticas específicas da região.

Por outro lado, a Tomín mostra uma diferença mais significativa, para a UH de referência, a temperatura mínima é de 12,06 °C, e para a UH real, essa temperatura é consideravelmente elevada, atingindo 16,08 °C. Isso indica que a UH real com revestimento argamassado e pintura escura é mais eficaz na retenção de calor durante os períodos mais frios, proporcionando um ambiente interno mais confortável.

Figura 25 - Comparação do revestimento argamassado com pintura escura ao norte

RESULTADOS PARA A UH REFERÊNCIA		RESULTADOS PARA A UH REAL	
PHFT UH	68.29%	PHFT UH	71.68%
Tomáx, UH (°C)	30.19	Tomáx, UH (°C)	31.74
Tomín, UH (°C)	12.06	Tomín, UH (°C)	16.08

LEGENDA:

- PHFT — Percentual de horas de ocupação dentro de uma faixa de temperatura operativa;
- Tomáx e Tomín — Temperatura operativa anual máxima e mínima;
- UH — Unidade Habitacional.

Em resumo, os dados das simulações indicam que o uso de revestimento argamassado com pintura de cor escura pode melhorar a faixa de conforto térmico dentro da UH real, aumentando tanto o PHFT UH, quanto a Tomín. Embora, a alta absorção de calor pelo revestimento de cor escura acarreta um aumento nas temperaturas internas, comprometendo o conforto térmico.

6.1.2 Orientação solar leste

A Figura 26 exibe dados comparativos entre a UH de referência e UH real, observa-se que a UH real tem um PHFT UH de 72.52%, superior aos 70.84% da UH referência, apontando que a unidade real passa uma maior porcentagem de horas em uma faixa de temperatura operativamente confortável. Em relação à Tomáx, a UH real registrou 32.13 °C, abaixo dos 32.54 °C da UH referência. Isso sugere que, apesar das temperaturas máximas serem semelhantes, a UH real consegue manter um ambiente um pouco mais fresco durante os picos de calor.

Figura 26 - Comparação com revestimento argamassado com pintura escura ao leste

RESULTADOS PARA A UH REFERÊNCIA		RESULTADOS PARA A UH REAL	
PHFT UH	70.84%	PHFT UH	72.52%
Tomáx, UH (°C)	32.54	Tomáx, UH (°C)	32.13
Tomín, UH (°C)	13.66	Tomín, UH (°C)	16.01

LEGENDA:

- PHFT — Percentual de horas de ocupação dentro de uma faixa de temperatura operativa;
- Tomáx e Tomín — Temperatura operativa anual máxima e mínima;
- UH — Unidade Habitacional.

Fonte: Autora (2024)

Por outro lado, a Tomín, na UH real foi de 16.01 °C, consideravelmente mais alta que os 13.66 °C da UH de referência, resultando que a UH real é mais eficaz em manter uma

temperatura mínima mais elevada, o que vem a ser vantajoso em climas mais frios ou durante os meses de inverno, reduzindo a necessidade de aquecimento.

Esses resultados mostram-se relevantes para simulações que consideram a orientação leste com revestimento argamassado com pintura escura. Este tipo de revestimento poderá influenciar a absorção de calor das paredes externas, afetando as temperaturas internas e, consequentemente, o conforto térmico dentro da unidade. A cor escura tende a absorver mais calor, o que pode explicar a capacidade da UH real de manter Tomín mais elevadas, apesar de potencialmente contribuir para Tomáx mais altas durante períodos de forte insolação.

6.1.3 Orientação solar sul

A comparação entre os dados de referência e os dados reais é ilustrada na Figura 27. Na UH real, os resultados indicaram um desempenho superior, o PHFT foi de 75,38%, o que representa uma ligeira melhoria no conforto térmico em comparação com a UH de referência. A Tomáx real foi de 31,84°C, pouco mais baixa que na UH de referência, o que propõe uma redução nas temperaturas internas máximas. Da mesma forma, a Tomín real foi de 15,93°C, um valor mais elevado em comparação com a UH de referência. Esse aumento na Tomín implica em uma menor variação térmica interna, proporcionando maior conforto aos ocupantes.

Figura 27 - Comparação com revestimento argamassado com pintura escura ao sul

RESULTADOS PARA A UH REFERÊNCIA		RESULTADOS PARA A UH REAL	
PHFT UH	72.30%	PHFT UH	75.38%
Tomáx, UH (°C)	32.25	Tomáx, UH (°C)	31.84
Tomín, UH (°C)	13.63	Tomín, UH (°C)	15.93

LEGENDA:

- PHFT — Percentual de horas de ocupação dentro de uma faixa de temperatura operativa;
- Tomáx e Tomín — Temperatura operativa anual máxima e mínima;
- UH — Unidade Habitacional.

A confrontação entre os resultados das duas unidades habitacionais destaca que a orientação sul, associada ao revestimento argamassado com pintura de cor escura, melhora o conforto térmico. Isso fica evidenciado pelo aumento do PHFT UH, e pela redução das variações extremas de temperatura operativa.

6.1.4 Orientação solar oeste

Os resultados apresentados na Figura 28, para unidades habitacionais, bem como de referência, tanto real, com orientação oeste e revestimento argamassado com pintura escura, revelam diferenças em termos de conforto térmico e eficiência energética. Estas diferenças são refletidas nas métricas de PHFT UH, Tomáx UH, e Tomín UH.

Figura 28 - Comparação com revestimento argamassado com pintura escura ao oeste

RESULTADOS PARA A UH REFERÊNCIA		RESULTADOS PARA A UH REAL	
PHFT UH	69.13%	PHFT UH	72.11%
Tomáx, UH (°C)	32.30	Tomáx, UH (°C)	31.99
Tomín, UH (°C)	13.55	Tomín, UH (°C)	15.86

LEGENDA:

- PHFT — Percentual de horas de ocupação dentro de uma faixa de temperatura operativa;
- Tomáx e Tomín — Temperatura operativa anual máxima e mínima;
- UH — Unidade Habitacional.

Fonte: Autora (2024)

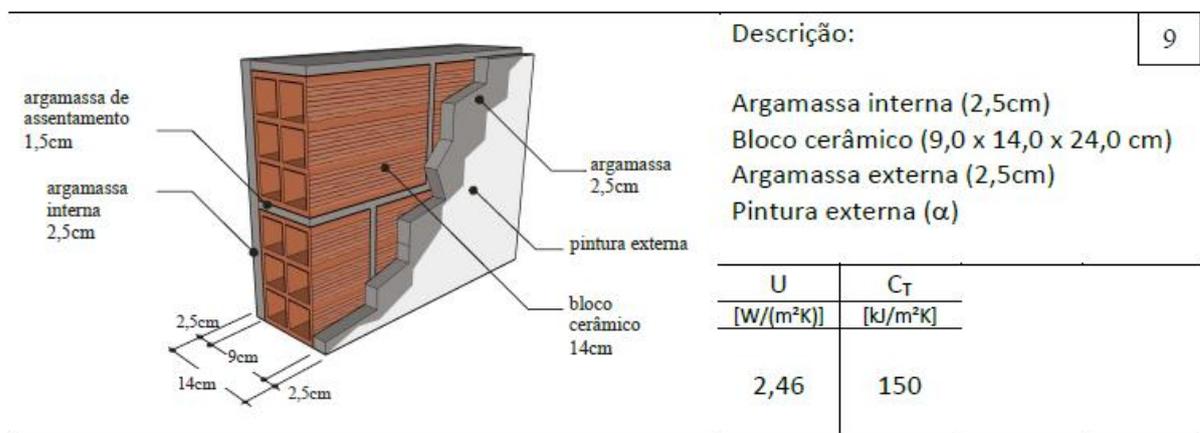
A UH real evidencia um PHFT de 72.11%, superando o PHFT de 69.13% da UH de referência. Este aumento de quase 3% no PHFT indica que a unidade real proporciona um ambiente com temperaturas operativas dentro de uma faixa considerada confortável, por uma maior parcela do ano. Este resultado vem a ser atribuído por combinação de fatores relacionados à orientação oeste e ao tipo de revestimento utilizado. No que diz respeito à Tomáx, a UH real registrou 31.99 °C, abaixo dos 32.30 °C da UH de referência. Por outro lado, a Tomín é notavelmente mais alta na UH real, registrando 15.86 °C em comparação com 13.55 °C na UH

de referência. Este aumento pode ser especialmente benéfico durante os meses mais frios, minimizando a necessidade de aquecimento e, conseqüentemente, reduzindo o consumo de energia.

6.2 Revestimento argamassado com pintura de cor clara

Como indicado na Figura 29, o modelo de fachada inclui uma camada de argamassa interna de 2,5 cm, um bloco cerâmico de 9 cm, e uma camada de argamassa externa de 2,5 cm, além de uma pintura externa. O coeficiente de transmissão térmica (U) é de 2,46 W/(m²K) e a capacidade térmica (CT) é de 150 kJ/(m²K), o que fornece uma base para entender o comportamento térmico das fachadas argamassadas com pintura de cor clara.

Figura 29 - Modelagem de fachada com revestimento argamassado e pintura



Fonte: INMETRO (2013)

6.2.1 Orientação solar norte

Nota-se que na Figura 30 que o PHFT na UH real é significativamente maior, atingindo 76.85% em comparação aos 68.29% na UH de referência. Todavia, a Tomáx UH real é superior, alcançando 30.98°C, minimamente mais alto do que os 30.19°C na UH de referência. Esse aumento pode ser uma consequência da exposição solar direta que as superfícies voltadas para o norte recebem. Além disso, a Tomín é mais elevada na UH real, com 15.56°C, confrontada por 12.06°C na UH de referência, o que aconselha menor necessidade de aquecimento e potencial para economia de energia em climas mais frios.

Figura 30 - Comparação com revestimento argamassado com pintura clara ao norte

RESULTADOS PARA A UH REFERÊNCIA		RESULTADOS PARA A UH REAL	
PHFT UH	68.29%	PHFT UH	76.85%
Tomáx, UH (°C)	30.19	Tomáx, UH (°C)	30.98
Tomín, UH (°C)	12.06	Tomín, UH (°C)	15.56

LEGENDA:

- PHFT — Percentual de horas de ocupação dentro de uma faixa de temperatura operativa;
- Tomáx e Tomín — Temperatura operativa anual máxima e mínima;
- UH — Unidade Habitacional.

Fonte: Autora (2024)

6.2.2 Orientação solar leste

Conforme Figura 31, a UH real quando comparada com a UH de referência, apresenta um PHFT mais elevado, com 77.68%, contra 70.84% da UH de referência. Este aumento sugere que a UH real mantém condições internas dentro de uma faixa de temperatura confortável por um maior período, possivelmente devido à exposição ao sol pela manhã, proporcionada pela orientação leste, além da eficácia do revestimento claro na reflexão da radiação solar.

Além disso, a análise da Tomáx e Tomín revela que a UH real consegue evitar picos de calor excessivos, com uma Tomáx de 31.33°C, sendo inferior aos 32.54°C registrados na UH de referência. Esse aspecto é crucial, pois, propõe que a UH real é mais eficiente em controlar o aquecimento excessivo durante os meses mais quentes. Por outro lado, a Tomín na UH real é mais alta em comparação com a UH de referência. Indicando menor necessidade de aquecimento nos meses frios.

Figura 31 - Comparação com revestimento argamassado com pintura clara ao leste

RESULTADOS PARA A UH REFERÊNCIA		RESULTADOS PARA A UH REAL	
PHFT UH	70.84%	PHFT UH	77.68%
Tomáx, UH (°C)	32.54	Tomáx, UH (°C)	31.33
Tomín, UH (°C)	13.66	Tomín, UH (°C)	15.48

LEGENDA:

- PHFT — Percentual de horas de ocupação dentro de uma faixa de temperatura operativa;
- Tomáx e Tomín — Temperatura operativa anual máxima e mínima;
- UH — Unidade Habitacional.

Fonte: Autora (2024)

6.2.3 Orientação solar sul

Segundo ilustrado da Figura 32, os dados da UH real apresentam um PHFT de 80.05%, tal configuração possui maior eficiência em manter a temperatura dentro de limites confortáveis por um maior percentual de tempo, defrontado com a UH referência, que registrou um PHFT de 72.30%.

A Tomáx na UH real foi menor do que na UH referência, sugerindo que a orientação sul e o revestimento claro podem ter auxiliado a refletir a radiação solar direta, evitando picos de calor que poderiam tornar o ambiente interno desconfortável. A Tomín na UH real também foi maior em comparação com a UH de referência, assinalando menor variação térmica e mais estabilidade no ambiente interno.

Figura 32 - Comparação com revestimento argamassado com pintura clara ao sul

RESULTADOS PARA A UH REFERÊNCIA		RESULTADOS PARA A UH REAL	
PHFT UH	72.30%	PHFT UH	80.05%
Tomáx, UH (°C)	32.25	Tomáx, UH (°C)	31.04
Tomín, UH (°C)	13.63	Tomín, UH (°C)	15.44

LEGENDA:

- PHFT — Percentual de horas de ocupação dentro de uma faixa de temperatura operativa;
- Tomáx e Tomín — Temperatura operativa anual máxima e mínima;
- UH — Unidade Habitacional.

Fonte: Autora (2024)

6.2.4 Orientação solar oeste

Consoante a Figura 33, o PHFT induz que a UH real tem um melhor desempenho, com 76,70% das horas dentro da faixa de temperatura desejada, uma vez que a UH referência alcançou 69,13%. Este aumento pode indicar maior conforto térmico para os ocupantes na UH real.

Em termos de Tomáx a UH real, apresenta uma leve diminuição, marcando 31.21°C, enquanto a UH referência atinge 32.30°C. Esta redução superior a um grau Celsius poderá contribuir para a redução de desconforto durante picos de calor. Por outro lado, a Tomín expõe um aumento na UH real, registrando 15,38°C em comparação a 13,55°C na UH referência, o que sugere que a UH real mantém uma temperatura mais estável e evita quedas extremas durante períodos mais frios.

Figura 33 - Comparação com revestimento argamassado com pintura clara ao oeste

RESULTADOS PARA A UH REFERÊNCIA		RESULTADOS PARA A UH REAL	
PHFT UH	69,13%	PHFT UH	76.70%
Tomáx, UH (°C)	32.30	Tomáx, UH (°C)	31.21
Tomín, UH (°C)	13.55	Tomín, UH (°C)	15.38

LEGENDA:

- PHFT — Percentual de horas de ocupação dentro de uma faixa de temperatura operativa;
- Tomáx e Tomín — Temperatura operativa anual máxima e mínima;
- UH — Unidade Habitacional.

Fonte: Autora (2024)

6.3 Comparação entre revestimento argamassado com pintura de cor escura e clara

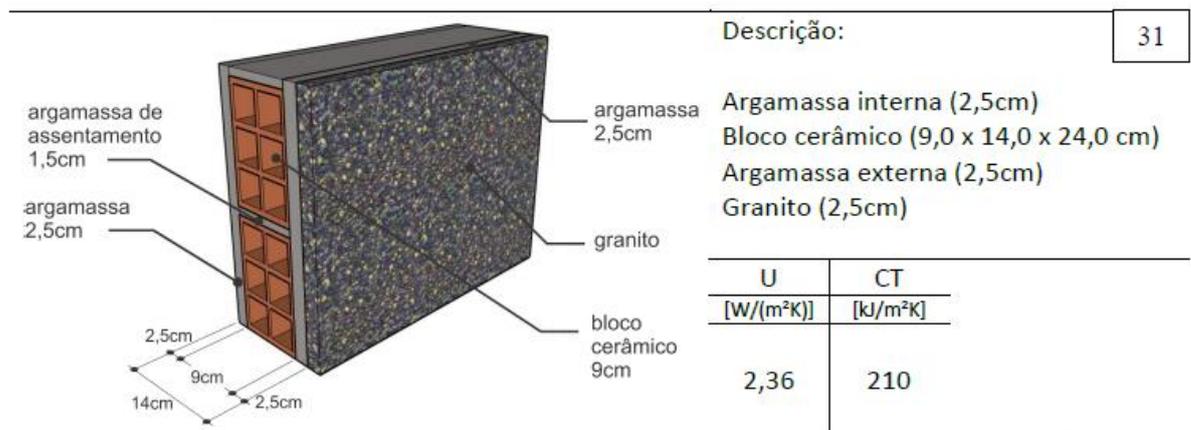
A pintura de cor escura demonstrou uma capacidade superior de absorver calor, o que naturalmente resultou em Tomáx internas mais elevadas. Esta característica traz benefícios durante os meses mais frios, pois, a retenção de calor é aumentada, elevando as Tomín internas. Por outro lado, a pintura de cor clara apresentou ser mais eficaz na reflexão da radiação solar, ajudando a manter o ambiente interno mais fresco durante os períodos de maior insolação. Isto foi refletido em Tomáx internas geralmente mais baixas, contribuindo para um ambiente mais confortável durante os meses mais quentes. Ademais, a cor clara apresentou uma boa retenção de calor, indicada por Tomín elevadas que favorecem a economia de energia durante o inverno.

De forma geral, a cor clara mostrou um desempenho consistentemente superior, mantendo o ambiente interno dentro de uma faixa de temperatura considerada confortável por um maior percentual de tempo, em todas as orientações solares analisadas.

6.4 Revestimento granito escuro

A estrutura da fachada, ilustrada na Figura 34, é composta por argamassa interna de 2,5 cm, com bloco cerâmico de 9 cm, argamassa externa de 2,5 cm e granito de 2,5 cm. Esta configuração apresenta um coeficiente de transmissão térmica (U) de 2,36 W/(m²K), e uma capacidade térmica (CT) de 210 kJ/(m²K). A utilização de revestimentos de mármore/granito visa atingir maior durabilidade e estética, além de influenciar o desempenho térmico da edificação.

Figura 34 - Modelagem de fachada com revestimento em granito/mármore



Fonte: INMETRO (2013)

6.4.1 Orientação solar norte

De acordo com a Figura 35, o PHFT UH é de 68.29%, indicando que em aproximadamente 68% das horas de ocupação as temperaturas se mantiveram dentro de uma faixa considerada operativamente confortável. Em contraste, na UH real, este percentual sobe para 74.86%, sugerindo que o uso de granito escuro na fachada norte poderá contribuir para um ambiente mais estável e confortável termicamente durante um maior número de horas ao longo do ano.

Quanto às temperaturas operativas, a UH real registrou uma Tomáx superior à da UH de referência, 31.30 °C contra 30.19 °C, respectivamente. Isso vem a ser interpretado em virtude de um efeito do material de revestimento, que por suas propriedades térmicas, tende a absorver e reter calor, elevando ligeiramente a temperatura máxima. Contudo, este aumento não parece comprometer significativamente o conforto, dado o aumento do PHFT UH.

Figura 35 - Comparação com revestimento em granito/mármore ao norte

RESULTADOS PARA A UH REFERÊNCIA		RESULTADOS PARA A UH REAL	
PHFT UH	68.29%	PHFT UH	74.86%
Tomáx, UH (°C)	30.19	Tomáx, UH (°C)	31.30
Tomín, UH (°C)	12.06	Tomín, UH (°C)	16.52

LEGENDA:

- PHFT — Percentual de horas de ocupação dentro de uma faixa de temperatura operativa;
- Tomáx e Tomín — Temperatura operativa anual máxima e mínima;
- UH — Unidade Habitacional.

Fonte: Autora (2024)

Em relação à Tomín, é notável uma diferença mais acentuada, com a UH real apresentando 16.52 °C, enquanto a UH de referência registra apenas 12.06 °C. O que reforça que o granito escuro pode ajudar a manter a edificação mais aquecida durante períodos mais frios, o que se torna o uso do revestimento vantajoso.

6.4.2 Orientação solar leste

Na figura 36, a UH real apresenta um PHFT superior, 75.76%, comparado aos 70.84% da UH de referência. Isso indica que a UH real, devido ao uso de granito escuro na fachada leste, mantém-se dentro de uma faixa de temperatura operativa confortável por um período maior ao longo do ano. Isso pode ser atribuído às propriedades térmicas do granito que ajudam na moderação das temperaturas internas, especialmente durante as manhãs quando a fachada leste é exposta ao sol.

Quanto às temperaturas operativas, a UH real registrou uma Tomáx de 31.66°C, inferior à Tomáx da UH de referência de 32.54°C. Isso sugere que o revestimento em granito escuro pode estar contribuindo para um pico de temperatura menor durante os períodos mais quentes. Já em relação à Tomín, a UH real também demonstra uma performance aprimorada com 16.45°C contra 13.66°C da UH de referência, indicando uma capacidade maior do material em

reter calor durante as noites mais frias, o que é benéfico para manter a temperatura interna mais estável.

Figura 36 - Comparação com revestimento em granito/mármore ao leste

RESULTADOS PARA A UH REFERÊNCIA		RESULTADOS PARA A UH REAL	
PHFT UH	70.84%	PHFT UH	75.76%
Tomáx, UH (°C)	32.54	Tomáx, UH (°C)	31.66
Tomín, UH (°C)	13.66	Tomín, UH (°C)	16.45

LEGENDA:

- PHFT — Percentual de horas de ocupação dentro de uma faixa de temperatura operativa;
- Tomáx e Tomín — Temperatura operativa anual máxima e mínima;
- UH — Unidade Habitacional.

Fonte: Autora (2024)

6.4.3 Orientação solar sul

Conforme demonstrado na Figura 37, a UH real exibe um PHFT de 78.92%, sendo superior ao da UH de referência, que é de 72.30%. Em relação à Tomáx, a UH real registrou o valor de 31.36°C, inferior aos 32.25°C da UH de referência. Este resultado aconselha que o revestimento de granito escuro pode estar atenuando os picos de calor durante os dias mais quentes, uma vantagem considerável para o conforto térmico no verão.

Ademais, na Tomín a UH real também mostrou um desempenho superior com 16.35°C, de confronto aos 13.63°C da UH de referência. Este aumento na Tomín sugere que o revestimento em granito contribui para uma maior retenção de calor durante as noites mais frias, o que é benéfico para minimizar o uso de aquecimento artificial, reduzindo potencialmente o consumo de energia.

Figura 37 - Comparação com revestimento em granito/mármore ao sul

RESULTADOS PARA A UH REFERÊNCIA		RESULTADOS PARA A UH REAL	
PHFT UH	72.30%	PHFT UH	78.92%
Tomáx, UH (°C)	32.25	Tomáx, UH (°C)	31.36
Tomín, UH (°C)	13.63	Tomín, UH (°C)	16.35

LEGENDA:

- PHFT — Percentual de horas de ocupação dentro de uma faixa de temperatura operativa;
- Tomáx e Tomín — Temperatura operativa anual máxima e mínima;
- UH — Unidade Habitacional.

Fonte: Autora (2024)

6.4.4 Orientação solar oeste

Os resultados das simulações de desempenho térmico para UH com orientação oeste e revestimento de granito escuro são apresentados na Figura 38. A UH real mostra um PHFT de 75.08%, que é consideravelmente maior que os 69.13% da UH de referência. Este aumento pode ser atribuído às propriedades térmicas do granito que reveste a fachada oeste.

Em relação à Tomáx, a UH Real registrou 31.66°C, sendo menor do que os 32.30°C da UH de referência. Esta redução na Tomáx recomenda que o granito escuro auxilia a controlar os picos de temperatura durante as horas mais quentes, o que é crucial para o conforto durante os meses de verão, quando a radiação solar poderá ser particularmente severa em fachadas orientadas para o oeste.

Quanto à Tomín, observa-se novamente um desempenho superior na UH real, com 16.27°C, e 13.55°C da UH de referência. Este aumento na Tomín indica que o revestimento em granito escuro contribui para uma melhor retenção de calor durante a noite, evidenciando benefícios para o conforto térmico durante as estações mais frias.

Figura 38 - Comparação com revestimento em granito/mármore ao oeste

RESULTADOS PARA A UH REFERÊNCIA		RESULTADOS PARA A UH REAL	
PHFT UH	69.13%	PHFT UH	75.08%
Tomáx, UH (°C)	32.30	Tomáx, UH (°C)	31.66
Tomín, UH (°C)	13.55	Tomín, UH (°C)	16.27

LEGENDA:

- PHFT — Percentual de horas de ocupação dentro de uma faixa de temperatura operativa;
- Tomáx e Tomín — Temperatura operativa anual máxima e mínima;
- UH — Unidade Habitacional.

Fonte: Autora (2024)

6.5 Isolante Lã de Rocha

A estrutura da fachada, presente na Figura 51, é composta por argamassa interna de 2,5 cm, bloco cerâmico de 9 cm, lã de rocha de 4 cm, bloco cerâmico de 9 cm e argamassa externa de 2,5 cm. Com um coeficiente de transmissão térmica (U) de 0,63 W/(m²K) e uma capacidade térmica (CT) de 199 kJ/(m²K), essa configuração visa não apenas melhorar o desempenho térmico, mas também aumentar a eficiência energética da edificação.

Figura 39 - Modelagem de fachada com isolante térmico lã de rocha

	Descrição:	37						
	Argamassa interna (2,5cm) Bloco cerâmico (9,0 x 14,0 x 24,0 cm) Lã de rocha (4cm) Bloco cerâmico (9,0 x 14,0 x 24,0 cm) Argamassa externa (2,5cm)							
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>U</th> <th>CT</th> </tr> <tr> <th>[W/(m²K)]</th> <th>[kJ/m²K]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0,63</td> <td>199</td> </tr> </tbody> </table>	U	CT	[W/(m ² K)]	[kJ/m ² K]	0,63	199	
U	CT							
[W/(m ² K)]	[kJ/m ² K]							
0,63	199							

Fonte: INMETRO (2013)

Os resultados obtidos indicam uma excelente capacidade de isolamento térmico. A análise comparativa do desempenho térmico foi realizada entre unidades habitacionais com diferentes orientações solares, entre elas norte, leste, sul e oeste, refletindo as variações devido à incidência solar direta.

Para a orientação solar norte, demonstrado na Figura 40, o PHFT UH foi de 98,10% para a UH real, representando um aumento considerável em relação aos 85,83% da UH de referência. As Tomáx foram quase idênticas, com a UH real registrando 27,17°C, já UH de referência foi de 27,19°C. No entanto, a Tomín aumentou de 14,44°C na UH de referência para 17,82°C na UH real, refletindo uma maior retenção de calor.

Figura 40 - Comparação com isolante térmico lã de rocha ao norte

RESULTADOS PARA A UH REFERÊNCIA		RESULTADOS PARA A UH REAL	
PHFT UH	85.83%	PHFT UH	98.10%
Tomáx, UH (°C)	27.19	Tomáx, UH (°C)	27.17
Tomín, UH (°C)	14.44	Tomín, UH (°C)	17.82

LEGENDA:

- PHFT — Percentual de horas de ocupação dentro de uma faixa de temperatura operativa;
- Tomáx e Tomín — Temperatura operativa anual máxima e mínima;
- UH — Unidade Habitacional.

Fonte: Autora (2024)

Conforme a Figura 41, os resultados para a orientação leste demonstram uma eficiência notável na manutenção das condições de conforto térmico. O PHFT UH atingiu 97,74% para a UH real, superando os 85,29% da UH de referência. A Tomáx foi menor na UH real, 27,13°C, comparada aos 27,23°C da UH de referência, enquanto a Tomín foi significativamente superior, 17,53°C contra 14,20°C.

Figura 41 - Comparação com isolante térmico lã de rocha ao leste

RESULTADOS PARA A UH REFERÊNCIA		RESULTADOS PARA A UH REAL	
PHFT UH	85.29%	PHFT UH	97.74%
Tomáx, UH (°C)	27.23	Tomáx, UH (°C)	27.13
Tomín, UH (°C)	14.20	Tomín, UH (°C)	17.53

LEGENDA:

- PHFT — Percentual de horas de ocupação dentro de uma faixa de temperatura operativa;
- Tomáx e Tomín — Temperatura operativa anual máxima e mínima;
- UH — Unidade Habitacional.

Fonte: Autora (2024)

Já para a orientação solar sul, expresso na Figura 42, o PHFT UH para a UH real alcançou 98,27%, comparado a 84,69% da UH de referência. A Tomáx foi de 27,08°C na UH real, inferior aos 27,25°C da UH de referência, enquanto a Tomín apresentou um aumento significativo, de 14,18°C para 17,70°C.

Figura 42 - Comparação com isolante térmico lã de rocha ao sul

RESULTADOS PARA A UH REFERÊNCIA		RESULTADOS PARA A UH REAL	
PHFT UH	84.69%	PHFT UH	98.27%
Tomáx, UH (°C)	27.25	Tomáx, UH (°C)	27.08
Tomín, UH (°C)	14.18	Tomín, UH (°C)	17.70

LEGENDA:

- PHFT — Percentual de horas de ocupação dentro de uma faixa de temperatura operativa;
- Tomáx e Tomín — Temperatura operativa anual máxima e mínima;
- UH — Unidade Habitacional.

Fonte: Autora (2024)

Na orientação oeste, os dados da Figura 43 indicaram que o PHFT UH alcançou 96,89% para a UH real, ultrapassando os 83,36% da UH de referência. A Tomáx foi menor na UH real, registrando 27,10°C, em comparação com 27,14°C da UH de referência, já a Tomín mostrou um aumento considerável, de 13,93°C para 17,26°C.

Figura 43 - Comparação com isolante térmico lã de rocha ao oeste

RESULTADOS PARA A UH REFERÊNCIA		RESULTADOS PARA A UH REAL	
PHFT UH	83.36%	PHFT UH	96.89%
Tomáx, UH (°C)	27.14	Tomáx, UH (°C)	27.10
Tomín, UH (°C)	13.93	Tomín, UH (°C)	17.26

LEGENDA:

- PHFT — Percentual de horas de ocupação dentro de uma faixa de temperatura operativa;
- Tomáx e Tomín — Temperatura operativa anual máxima e mínima;
- UH — Unidade Habitacional.

Fonte: Autora (2024)

Em ambas as orientações, a lã de rocha provou ser uma solução eficaz para isolamento térmico, promovendo um ambiente interno mais estável, reduzindo a necessidade de sistemas de climatização. Esses resultados são evidenciados pela ausência de consumo energético para aquecimento e resfriamento em ambas as unidades habitacionais analisadas, indicando que a edificação pode manter condições térmicas confortáveis sem a necessidade de energia adicional. Essa eficiência energética não só reduz os custos operacionais ao longo do tempo, mas também reforça a viabilidade da lã de rocha como uma escolha sustentável sob o ponto de vista ambiental e econômico.

Figura 44 – Desempenho térmico do isolante térmico lã de rocha

NÍVEIS	CRITÉRIO	ATENDIMENTO
MÍNIMO	PHFT UH	Atende ao Nível Mínimo
	Tomáx UH	Atende ao Nível Mínimo
	Tomín UH	Atende ao Nível Mínimo
INTERMEDIÁRIO	PHFT UH	Atende ao Nível Intermediário
SUPERIOR	PHFT UH	Atende ao Nível Superior

LEGENDA:

- PHFT — Percentual de horas de ocupação dentro de uma faixa de temperatura operativa;
- Tomáx e Tomín — Temperatura operativa anual máxima e mínima;
- UH — Unidade Habitacional.

Fonte: Autora (2024)

A Figura 44 categorizou os resultados em diferentes níveis, que variaram do nível mínimo até o máximo. Observa-se que para o critério PHFT UH, as unidades habitacionais atendem ao nível mínimo nas temperaturas operativas anuais máxima e mínima, e alcançam o nível intermediário e superior no critério PHFT UH.

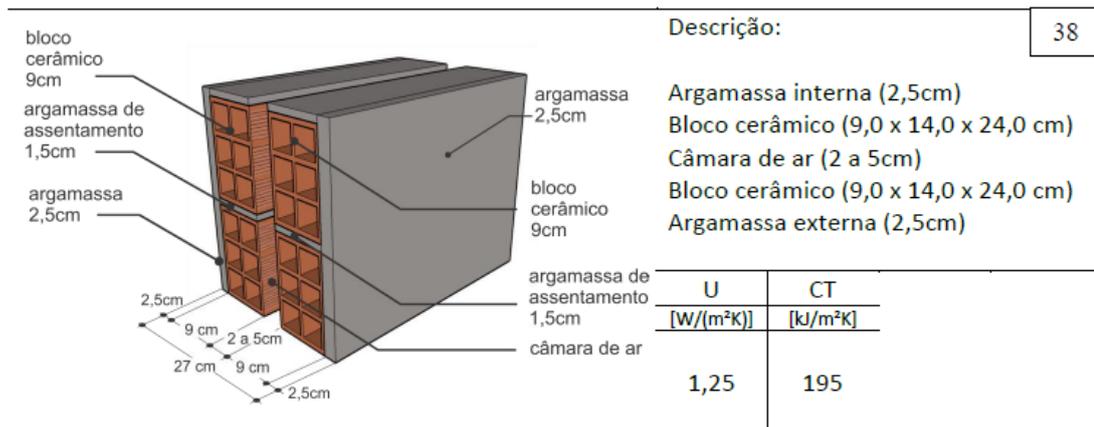
Além disso, as variações nas temperaturas máximas e mínimas registradas reforçam que a lã de rocha responde eficazmente às diferentes exigências térmicas impostas pelas diversas orientações solares. Essa flexibilidade torna o material uma opção atraente para uma ampla gama de aplicações em projetos de construção sustentável. Os benefícios de usar lã de rocha estendem-se à estabilidade térmica interna, reduzindo as variações extremas de temperatura e melhorando as condições de conforto para os ocupantes.

O desempenho superior das unidades habitacionais em comparação com as referências e o cumprimento dos requisitos da NBR 15575/2021 enfatizam a eficácia da seleção de materiais e do design da fachada.

6.6 Fachada ventilada

Mediante o que é mostrado na Figura 68, a construção é composta por uma argamassa interna de 2,5 cm, um bloco cerâmico de 9 cm, uma câmara de ar de 2 a 5 cm, outro bloco cerâmico de 9 cm e uma argamassa externa de 2,5 cm. Essa configuração apresenta uma transmitância térmica (U) de 1,25 W/(m²K) e uma capacidade térmica (CT) de 195 kJ/(m²K).

Figura 45 - Modelagem de fachada com câmara de ar



Fonte: INMETRO (2013)

Os resultados comparativos para a orientação solar norte entre a UH de referência e a UH real são apresentados na Figura 46. Observa-se que o PHFT UH para a UH real é de 92,78%, representando um aumento significativo em relação aos 85,83% da UH de referência. Isso indica uma boa eficiência térmica da edificação real. As Tomáx e Tomín na UH real são, respectivamente, de 27,25°C e 16,93°C, evidenciando uma melhoria no controle térmico interno.

Figura 46 - Comparação com fachada ventilada ao norte

RESULTADOS PARA A UH REFERÊNCIA		RESULTADOS PARA A UH REAL	
PHFT UH	85.83%	PHFT UH	92.78%
Tomáx, UH (°C)	27.19	Tomáx, UH (°C)	27.25
Tomín, UH (°C)	14.44	Tomín, UH (°C)	16.93

LEGENDA:

- PHFT — Percentual de horas de ocupação dentro de uma faixa de temperatura operativa;
- Tomáx e Tomín — Temperatura operativa anual máxima e mínima;
- UH — Unidade Habitacional.

Fonte: Autora (2024)

A Figura 47 apresentou os resultados para a orientação leste, na UH de referência, a PHFT UH é de 85,29%, enquanto na UH real essa eficiência aumentou para 92,03%. As temperaturas máximas (Tomáx UH) e mínima (Tomín UH) apresentam variações notáveis. Na UH de referência, a Tomáx UH registra 27,23°C e a Tomín UH, 14,20°C. Na UH real, esses valores são de 27,20°C e 15,59°C, respectivamente.

Figura 47 - Comparação com fachada ventilada ao leste

RESULTADOS PARA A UH REFERÊNCIA		RESULTADOS PARA A UH REAL	
PHFT UH	85.29%	PHFT UH	92.03%
Tomáx, UH (°C)	27.23	Tomáx, UH (°C)	27.20
Tomín, UH (°C)	14.20	Tomín, UH (°C)	15.59

LEGENDA:

- PHFT — Percentual de horas de ocupação dentro de uma faixa de temperatura operativa;
- Tomáx e Tomín — Temperatura operativa anual máxima e mínima;
- UH — Unidade Habitacional.

Fonte: Autora (2024)

Para a orientação solar sul, na Figura 48, o PHFT UH foi de 92,29% para a UH real, representando um aumento considerável em relação aos 84,69% da UH de referência. As Tomáx foram semelhantes, com a UH real registrando 27,18°C, contra 27,25°C da UH de referência. Todavia, a Tomín aumentou de 14,18°C na UH de referência para 15,65°C na UH real.

Figura 48 - Comparação com fachada ventilada ao sul

RESULTADOS PARA A UH REFERÊNCIA		RESULTADOS PARA A UH REAL	
PHFT UH	84.69%	PHFT UH	92.29%
Tomáx, UH (°C)	27.25	Tomáx, UH (°C)	27.18
Tomín, UH (°C)	14.18	Tomín, UH (°C)	15.65

LEGENDA:

- PHFT — Percentual de horas de ocupação dentro de uma faixa de temperatura operativa;
- Tomáx e Tomín — Temperatura operativa anual máxima e mínima;
- UH — Unidade Habitacional.

Fonte: Autora (2024)

Na orientação oeste, os dados da Figura 49 indicaram que o PHFT UH atingiu 90,48% para a UH real, superando os 84,36% da UH de referência. A Tomáx foi minimamente menor na UH real, registrando 27,19°C, em comparação com 27,24°C da UH de referência, e a Tomín evidenciou um aumento considerável, de 13,93°C para 15,66°C.

Figura 49 - Comparação com fachada ventilada ao oeste

RESULTADOS PARA A UH REFERÊNCIA		RESULTADOS PARA A UH REAL	
PHFT UH	84.36%	PHFT UH	90.48%
Tomáx, UH (°C)	27.24	Tomáx, UH (°C)	27.19
Tomín, UH (°C)	13.93	Tomín, UH (°C)	15.66

LEGENDA:

- PHFT — Percentual de horas de ocupação dentro de uma faixa de temperatura operativa;
- Tomáx e Tomín — Temperatura operativa anual máxima e mínima;
- UH — Unidade Habitacional.

Fonte: Autora (2024)

As simulações foram realizadas para as orientações solar norte, leste, sul e oeste, o que permitiu uma análise detalhada da resposta térmica do edifício à diferentes exposições solares. Os resultados demonstraram que o PHFT UH excedeu os valores de referência em todas as orientações, destacando a eficácia da fachada ventilada em manter um ambiente interno confortável.

Comparando os resultados obtidos com a NBR 15575/2021, constata-se que a edificação atende ao nível mínimo para Tomáx UH e Tomín UH em todas as orientações, enquanto o PHFT UH atende ao nível intermediário, sugerindo que a fachada ventilada proporciona um ambiente interno expressivamente mais confortável que o mínimo exigido pela norma.

6.7 Comparação dos resultados obtidos

As Figuras 50, 51 e 52 apresentaram uma análise comparativa detalhada do desempenho térmico de variados tipos de revestimentos e configurações de fachada, com base na orientação solar, e em duas métricas principais: temperatura operativa anual máxima (Tomáx UH) e mínima (Tomín UH), bem como o percentual de horas de ocupação dentro de uma faixa de temperatura operativa (PHFT UH).

Figura 50 – Comparativo entre os resultados PHFT UH

COMPATIVO ENTRE OS RESULTADOS PHFT UH					
ORIENTAÇÃO SOLAR	SIMULAÇÕES				
	Revestimento argamassado com pintura de cor escura	Revestimento argamassado com pintura de cor clara	Revestimento granito de cor escura	Isolante Lã de Rocha	Fachada Ventilada
NORTE	71.68%	76.85%	74.86%	98.10%	92.78%
LESTE	72.52%	77.68%	75.76%	97.74%	92.03%
SUL	75.38%	80.05%	78.92%	98.27%	92.29%
OESTE	72.11%	76.70%	75.08%	96.89%	90.48%

LEGENDA:

- PHFT — Percentual de horas de ocupação dentro de uma faixa de temperatura operativa.

Fonte: Autora (2024)

Os resultados mostram que as fachadas com isolante lã de rocha e as ventiladas alcançaram os maiores percentuais, superando 92% em muitos casos, o que recomenda uma alta capacidade de manter condições de conforto térmico para os ocupantes. Este alto desempenho é fundamental para edifícios que buscam eficiência energética e conforto prolongado. A fachada ventilada, em particular, destaca-se pela sua capacidade de utilizar o fluxo natural de ar para regular a temperatura, reforçando a relevância da ventilação adequada e do design inteligente nas práticas modernas de construção. A diferença entre cores claras e escuras é evidente aqui, com cores claras favorecendo o melhor desempenho.

As fachadas sul ainda mostram percentuais elevados de horas dentro de uma faixa de temperatura operativa confortável, indicando que esta orientação oferece um ambiente interno mais estável e confortável ao longo do ano. A orientação norte, especialmente com o uso de materiais como lã de rocha e fachadas ventiladas, demonstra um bom controle de temperaturas, mantendo um ambiente confortável por uma grande parte do tempo.

Figura 51 - Comparativo entre os resultados Tomáx UH (°C)

COMPATIVO ENTRE OS RESULTADOS Tomáx UH (°C)					
ORIENTAÇÃO SOLAR	SIMULAÇÕES				
	Revestimento argamassado com pintura de cor escura	Revestimento argamassado com pintura de cor clara	Revestimento granito de cor escura	Isolante Lã de Rocha	Fachada Ventilada
NORTE	31.74	30.98	31.30	27.17	27.25
LESTE	32.13	31.33	31.66	27.13	27.20
SUL	31.84	31.04	31.36	27.08	27.18
OESTE	31.99	31.21	31.66	27.10	27.19

LEGENDA:

- Tomáx — Temperatura operativa anual máxima.

Fonte: Autora (2024)

As fachadas com o uso do isolante lã de rocha e as ventiladas, novamente se destacam, gerando as temperaturas mais baixas, tornando vantajoso para manutenção da estabilidade térmica durante períodos mais quentes. Nota-se que os revestimentos argamassados com pintura clara apresentam temperaturas máximas, mas mais baixas em comparação com os de cor escura, sugerindo uma melhor reflexão dos raios solares e menor absorção de calor.

As orientações sul e norte, ofereceram melhores condições, especialmente a sul, devido à menor incidência de radiação solar direta, favorecendo o alcance de desempenho térmico superior conforme os critérios da NBR 15575.

Figura 52 - Comparativo entre os resultados Tomín UH (°C)

COMPATIVO ENTRE OS RESULTADOS Tomín UH (°C)					
ORIENTAÇÃO SOLAR	SIMULAÇÕES				
	Revestimento argamassado com pintura de cor escura	Revestimento argamassado com pintura de cor clara	Revestimento granito de cor escura	Isolante Lã de Rocha	Fachada Ventilada
NORTE	16.08	15.56	16.52	17.82	16.93
LESTE	16.01	15.48	16.45	17.53	15.59
SUL	15.93	15.44	16.35	17.70	15.65
OESTE	15.86	15.38	16.27	17.26	15.66

LEGENDA:

- Tomín — Temperatura operativa anual mínima.

Fonte: Autora (2024)

Observa-se que entre os tipos de revestimento, a lã de rocha como isolante térmico gerou as maiores temperaturas mínimas em comparação com as outras opções, como revestimentos argamassados ou o granito, em todas as orientações. Isso aconselha que a lã de rocha é particularmente eficiente em reter calor dentro da edificação, um atributo valioso para melhorar o conforto térmico durante os meses mais frios.

Em relação a orientação norte, as fachadas ventiladas também apresentam temperaturas mínimas relativamente altas, demonstrando sua eficácia em regular a temperatura interna de maneira mais uniforme ao longo do ano, bem como as demais fachadas, que apresentaram as maiores temperaturas mínimas, aproveitando a maior incidência solar direta.

7 CONCLUSÃO

Este estudo foi dedicado à avaliação aprofundada do desempenho térmico de fachadas utilizando vários tipos de revestimentos e isolante térmico lã de rocha, sob diferentes orientações solares. Através de simulações computacionais executadas através do software *EnergyPlus*, foi possível obter uma compreensão detalhada das trocas térmicas entre o interior e o exterior da edificação, o que facilitou a identificação das melhores práticas e dos materiais, para otimizar tanto o conforto térmico quanto a eficiência energética dos edifícios.

Os resultados obtidos ressaltam que o uso de revestimentos argamassados com pinturas em cores claras e a aplicação de isolantes térmicos eficientes, como a lã de rocha, possibilitam uma melhora significativa no controle da temperatura interna, reduzindo o ganho de calor e aumentando a estabilidade térmica. Em particular, a orientação das fachadas se mostrou um fator crucial: enquanto as fachadas voltadas para o oeste recebem intensa radiação solar nas tardes, resultando em maiores ganhos de calor, aquelas voltadas para o sul beneficiam-se de menor exposição solar, potencializando os efeitos dos isolantes térmicos.

Para mais, a análise revelou a superioridade dos materiais como o granito e os revestimentos argamassados com pinturas de cores claras em termos de regulação térmica. Contrariamente, os revestimentos argamassados com pintura de cores escuras, apesar de esteticamente atraentes, tendem a absorver maior calor, resultando em temperaturas internas mais altas. Este aspecto destaca a necessidade de uma escolha criteriosa de materiais que equilibrem eficiência térmica e preferências estéticas.

A lã de rocha se destaca como um isolante térmico eficaz, conhecida por sua maior densidade e resistência ao fogo, mostrou-se vantajosa em ambientes que requerem uma proteção adicional contra altas temperaturas ou maior barreira acústica. Este isolante é capaz de reduzir significativamente o ganho de calor pelas fachadas, melhorando a estabilidade térmica interna e conseqüentemente, o conforto dos ocupantes.

A ventilação natural, promovida pelas fachadas ventiladas através do efeito chaminé, também foi destacada como um mecanismo competente para a dispersão do calor. Este sistema melhora o desempenho térmico, bem como, promove a sustentabilidade ao reduzir a dependência de sistemas de climatização ativa. As fachadas ventiladas oferecem vantagens

adicionais, incluindo a redução da umidade e a prevenção de condensação, o que pode prolongar a vida útil dos materiais de construção e melhorar a qualidade do ar interno.

Apesar do grande potencial das fachadas ventiladas em contribuir significativamente para a eficiência energética e o conforto térmico, sua adoção no Brasil ainda é limitada em razão de alguns fatores, como os custos elevados de implementação, a falta de mão de obra especializada e a cultura construtiva predominante, que frequentemente favorece técnicas mais tradicionais e de menor custo inicial, são barreiras significativas. Essas dificuldades destacam a necessidade de incentivos governamentais, capacitação técnica e maior conscientização sobre os benefícios de longo prazo dessas tecnologias para uma adoção mais ampla.

Portanto, concluímos que as fachadas desempenham um papel vital, que vai muito além da estética e do design, pois, conseguindo executar uma combinação adequada de materiais e técnicas construtivas poderá alcançar uma melhoria na eficiência energética, bem como no conforto térmico. Em considerações finais, fica ressaltado que a utilização de fachadas ventiladas demonstra ser uma solução superior e muito eficiente em comparação com sistemas de fachada convencionais, a partir disso é recomendando a sua aplicação em projetos de construção modernas, o que irá otimizar a performance térmica, e garantir a sustentabilidade das edificações.

Com isto, para trabalhos futuros sugere-se:

- Investigar a eficiência térmica de novos materiais de revestimento que estão sendo desenvolvidos no mercado;
- Realizar simulações em diferentes zonas climáticas do Brasil, utilizando dados climáticos específicos de outras cidades;
- Estudar como diferentes cores e acabamentos de superfície afetam a absorção de calor e a eficiência térmica das fachadas;
- Realizar visitas técnicas a edificações que utilizam sistemas de fachadas ventiladas para documentar e analisar a aplicação prática desses sistemas.

REFERÊNCIAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15.520-1: Desempenho térmico de edificações - Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15.520-2: Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15.520-3: Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-1: Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-4: Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.
- ANDREOLLI, Samara. *Avaliação do desempenho térmico de edificações em contêiner*. 2017. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Univates: Universidade do Vale do Taquari, Lajeado, 2017. 79p.
- CARLO, Joyce Correna. *Desenvolvimento de metodologia de avaliação da eficiência energética do envoltório de edificações não-residenciais*. 2008. Dissertação (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008. 215p.
- CONSTRULINK. Dossier técnico-económico fachada ventilada. 2006. Disponível em: <http://engenhariacivil.files.wordpress.com/2008/01/dossiereconomico.pdf> Acesso em: 03, out. 2023.
- COSTA, Carla Neves; ONO, Rosária; SILVA, Valdir Pignatta. *A importância da compartimentação e suas implicações no dimensionamento das estruturas de concreto para situação de incêndio*. Olinda: IBRACON, 2005.
- CUNHA, Márcio Manuel Ferreira. *Desenvolvimento de um sistema construtivo para fachadas ventiladas*. 2006. Dissertação (Mestrado em Construção de Edifícios) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2006. 182p.
- DIREITO, Joana Ferreira. *Estudo da segurança contra incêndio em fachadas ventiladas*. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2011. 92p.

DUTRA, Miguel Resendes. *Caracterização de Revestimentos em Fachadas Ventiladas. Análise do Comportamento*. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2010. 85 p.

EL DEBS, Mounir Khalil. *Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações*. 2. Ed. São Carlos: EESC-USP. 2017.

ENERGYPLUS. EnergyPlus: The Energy Simulation Software. Disponível em: <<https://energyplus.net/>>. Acesso em: 21, maio. De 2024.

Fachadas Ventiladas com Cerâmicas Portobello. Revestindo a casa, 2022. Disponível em: <<https://revestindoacasa.com.br/2022/09/fachadas-ventiladas-com-ceramicas-portobello/>> Acesso em: 24, set. de 2023.

Fachadas Ventiladas. Eliane Tec, 2022. Disponível em: <<https://www.elianetec.com/solucoes/fachadas-ventiladas>> Acesso em: 27, ago. de 2023.

Fachada Ventilada ULMA em concreto polímero com lâminas para reduzir a luz no interior. Ulma Architectural Solutions, 2023. Disponível em: <<https://www.ulmaarchitectural.com/pt-br/fachadas-ventiladas/projetos/fachada-ventilada-ulma-en-el-centro-de-atencion-primaria-josep-beltran-y-miret-de-sant-pere-de-ribes-barcelona>> Acesso em: 24, ago. de 2023.

FERMIANO, Ana Paula. *Análise do desempenho térmico em uma edificação escolar no município de Caxias do Sul, por meio da ABNT NBR 15575:2013*. 2020. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2020. 100p.

FERREIRA, Fernanda Cristina. *Procedimentos de avaliação de conforto ambiental e eficiência energética aplicados a um caso típico da Rede Estadual de Escolas Públicas de Minas Gerais*. 2006. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006. 258p.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. *Eficiência Energética na Arquitetura*. 3ª Edição. Rio de Janeiro: Eletrobas/Procel, 2014. 382p.

LAMBERTS, Roberto. *Desempenho térmico de edificações*. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2016.

LOCH, Cintia; BADEJO, Adriana Salete Pizetta; CANCIAN, Lisandra Cadore Tisott. Figura 2: Mapa de localização do município de Novo Hamburgo. ResearchGate. Disponível em: <https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Mapa-de-localizacao-do-municipio-de-Novo-Hamburgo_fig3_347561175>. Acesso em: 11 jun. 2024.

MACIEL, Ana Carolina Fernandes. *Energia incorporada de fachadas ventiladas: estudo de caso para edificação habitacional em Brasília*. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de Brasília, Brasília, 2013. 147p.

MADRUGA, Emerson Limberger. *Desempenho térmico: comparativo de edificações em light steel framing com edificações em bloco cerâmico através de simulação computacional*. 2016. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016. 140p.

MARTINS, José Augusto Stoffel Maia Titto. *Análise comportamental do fogo em sistemas de fachada com isolamento pelo exterior*. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Nova de Lisboa Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa, 2009. 94p.

MENDES, Francisco Melo Vaz Pinto. *Durabilidade das fachadas ventiladas: aplicação da Norma ISO 15686-1*. 2009 Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2009. 67p.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). Projeto Estratégico de Eficiência Energética (PROJETEEE). Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/projeteee/>>. Acesso em: 11 jun. 2024.

MOTA, Raquel Ramos Silveira da. *Análise das condições de uso e ocupação de HIS, localizadas na cidade de Pelotas – ZB2, preconizadas no RTQ-R no método de simulação computacional*. 2016. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2016. 158p.

MOURA, Eride. Fachadas respirantes. Fachadas ventiladas combinam funções estéticas com bom desempenho térmico, além de contribuir para reduzir cargas do condicionamento de ar. *TÉCHNE: revista de tecnologia da construção*, São Paulo, ed. 144, p. 34-41, mar. 2009.

Nações Unidas do Brasil. O que são as mudanças climáticas. 2023. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/175180-o-que-s%C3%A3o-mudan%C3%A7as-clim%C3%A1ticas>> Acesso em: 12, set. de 2023.

O que é uma fachada ventilada. Ulma Architectural Solutions, 2023. Disponível em: <<https://www.ulmaarchitectural.com/pt-br/fachadas-ventiladas/noticias/o-que-e-uma-fachada-ventilada>> Acesso em: 05, out. de 2023.

Painel HPL com acabamento natural – Authentic. ArchDaily Brasil, 2023. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/catalog/br/products/29366/painel-hpl-com-acabamento-natural-authentic-fundermax?ad_source=neufert&ad_medium=gallery&ad_name=close-gallery> Acesso em: 14, set. de 2023.

Recordes de calor: mapa mostra os dias mais quentes registrados nos cinco continentes. O GLOBO, 2023. Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/mundo/clima-e-ciencia/infograficos/2023/07/recordes-de-calor-mapa-mostra-os-dias-mais-quentes-registrados-nos-cinco-continentes.ghtml.ghtml>> Acesso em: 11, ago. de 2023.

SIQUEIRA JÚNIOR, Amaury Antunes de. *Tecnologia de fachada-cortina com placas de grês porcelanato*. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003. 199p.

SOUSA, Fernando Manuel Fernandes. *Fachadas ventiladas em edifícios: tipificação de soluções e interpretação do funcionamento conjunto suporte, acabamento*. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, Porto, 2010. 138p.

SOUSA, Hipólito; et al. *Fachadas de Edifícios*. 1. ed. Lisboa: Lidel, 2016. 295p.