

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COECI – COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
ENGENHARIA CIVIL**

ISABELLE MOURA MONTEIRO DE JESUS

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE UMA FACHADA DE
BLOCOS CERÂMICOS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

GUARAPUAVA

2025

ISABELLE MOURA MONTEIRO DE JESUS

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE UMA FACHADA DE
BLOCOS CERÂMICOS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, do COECI Coordenação do curso de Engenharia Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador(a): Prof. Dr. Rodrigo Scoczynski Ribeiro

GUARAPUAVA

2025



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

ISABELLE MOURA MONTEIRO DE JESUS

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE UMA FACHADA DE
BLOCOS CERÂMICOS**

**ASSESSMENT OF THE THERMAL PERFORMANCE OF A
CERAMIC BLOCK FAÇADE**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil, do COECI
Coordenação do curso de
Engenharia Civil, da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná.

23 de abril de 2025

Orientador Dr. Rodrigo Scoczynski Ribeiro
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Rodrigo de Souza Nogueira
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr^a Geannina Terezinha dos Santos Lima
Universidade Federal do Espírito Santo

GUARAPUAVA

2025

RESUMO

JESUS, Isabelle Moura Monteiro de. **Análise do desempenho térmico de uma fachada de blocos cerâmicos**. 2025. 60 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Guarapuava, 2025.

As recorrentes mudanças climáticas vem sendo o contratempo para diversas áreas, e a construção civil não seria exceção. O Brasil, por ser um país com dimensões continentais, está dividido em seis zonas bioclimáticas, que por sua vez se subdividem em doze. Cada uma dessas zonas apresenta condições climatológicas distintas, como variações na umidade relativa do ar, na incidência térmica, entre outros fatores. A zona bioclimática carece de um escopo quanto ao conforto térmico. No país apesar de conter um número modesto de cidades na zona bioclimática 1M, o município de Guarapuava, localizado no Paraná, se destaca por suas médias serem consideradas baixas demais para um país de clima tropical, e por isso, negligenciada quanto ao conforto térmico. O estudo do conforto térmico em fachadas de vedação é essencial para assegurar condições adequadas de habitabilidade em ambientes internos, ao bem-estar dos usuários e à eficiência energética da edificação. Como elemento de interface entre o ambiente externo e interno, a fachada desempenha um papel crucial na transferência de calor por condução, radiação e convecção. O estudo teve como objetivo analisar se a edificação, situada no centro-sul do estado do Paraná, Guarapuava. O estudo analisou se a edificação adotou a fachada de vedação adequada, conforme a NBR 15220-2: 2022, se a edificação dispõe de materiais com propriedades de isolamento térmico adequadas, aliados a estratégias passivas de climatização, de forma a minimizar os ganhos e perdas de calor indesejados. Para a condução do estudo, foram calculadas analiticamente a resistência térmica e a capacidade térmica do principal material empregado na fachada de vedação, o bloco cerâmico. Em seguida, os resultados obtidos foram comparados com os gerados por meio de simulação computacional realizada pelo software Therm. A variação de erro entre os métodos foi inferior a 4,1%, que consiste que os modelos de cálculos condizem com o desempenho térmico real do bloco, o qual atendeu aos requisitos de desempenho térmico da NBR.

Palavras-chave: Conforto Térmico. Bloco cerâmico. Fachada de vedação. Resistência térmica. Desempenho térmico.

ABSTRACT

JESUS, Isabelle Moura Monteiro de. **Assessment of the Thermal Performance of a Ceramic Block Façade**. 2025. 60 p. Civil Engineering final term paper - Federal University of Technology - Paraná, Guarapuava, 2025.

The recurring climate changes have become a challenge across various sectors, and the construction industry is no exception. Brazil, due to its continental dimensions, is divided into six bioclimatic zones, which are further subdivided into twelve. Each of these zones presents distinct climatological conditions, such as variations in relative humidity, thermal incidence, among other factors. Bioclimatic zoning still lacks a defined scope regarding thermal comfort. Although the country has a modest number of cities within bioclimatic zone 1M, the municipality of Guarapuava, located in the state of Paraná, stands out due to its average temperatures being considered unusually low for a tropical country—thus often neglected in terms of thermal comfort. The study of thermal comfort in sealing façades is essential to ensure adequate indoor habitability conditions, user well-being, and the building's energy efficiency. As an interface between the external and internal environments, the façade plays a crucial role in heat transfer through conduction, radiation, and convection. This study aimed to analyze whether the building, located in the south-central region of Paraná state, in Guarapuava, adopted an appropriate sealing façade in accordance with NBR 15220-2: 2022, and whether the building uses materials with suitable thermal insulation properties, combined with passive climate control strategies to minimize unwanted heat gains and losses. For this purpose, the thermal resistance and thermal capacity of the primary material used in the sealing façade—ceramic block—were analytically calculated. The results obtained were then compared with those generated through computer simulation using Therm software. The variation in error between the methods was less than 4,1%, indicating that the calculation models are consistent with the actual thermal performance of the block, which, in turn, met the thermal performance requirements of the NBR standard.

Keywords: Thermal comfort. Ceramic block. Building Envelope Façade. Thermal Resistance. Thermal Performance.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Localização da edificação de estudo.....	25
Figura 2: Classificação Climática do Paraná – Köppen.....	27
Figura 3: Limites do município - Base Cartográfica ITCG (2010).....	28
Figura 4: Temperatura média anual do Paraná.....	29
Figura 5: Temperatura média anual de Inácio Martins.	29
Figura 6: Umidade Relativa do Ar Anual do Paraná.....	30
Figura 7: Umidade Relativa do Ar média anual de Inácio Martins.....	31
Figura 8: Insolação Anual do Paraná.	32
Figura 9: Pressão Atmosférica média anual de Inácio Martins.....	33
Figura 10: Paquímetro digital "mtx" modelo 316119.	34
Figura 11: Blocos cerâmicos de dimensões 14x19x29 cm.....	35
Figura 12: Bloco cerâmico modelado.	36
Figura 13: Bloco cerâmico dividido em seções	37
Figura 14: Tabela 8 – Resistência térmica de camadas de ar não ventiladas com superfícies.....	38
Figura 15: Malha do bloco cerâmico.	41
Figura 16: Cálculo da Resistência total do bloco pelo Therm.....	43
Figura 17: Fluxo de calor.....	45
Figura 18: Blocos cerâmicos.	47
Figura 19: Corte lateral do sistema construtivo da fachada analisada.	48
Figura 20: Projeto de revestimento similar a fachada analisada.	60

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Comparação aos resultados analíticos a NBR 15575-4 (2021).....	49
--	----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVO	15
2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	16
2.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS	16
2.2 CONFORTO TÉRMICO	16
2.3 DEFINIÇÕES	17
2.3.1 Calor Específico	17
2.3.2 Emissividade	17
2.3.3 Capacidade Térmica	17
2.3.4 Carga Térmica de Aquecimento	18
2.3.5 Carga Térmica de Refrigeração	18
2.3.6 Carga Térmica Total	18
2.3.7 Condutividade Térmica	19
2.3.8 Coeficiente de Transferência Térmica	19
2.3.9 Transmitância Térmica	19
2.3.10 Resistência Térmica	20
2.3.11 Resistência Térmica de Elementos e Componentes	20
2.3.12 Absortância à Radiação Solar	20
2.3.13 Zona Bioclimática	21
2.4 VARIÁVEIS DO CONFORTO TÉRMICO	21
2.4.1 Fatores Ambientais	21
2.4.1.1 Temperatura do ar	21
2.4.1.2 Umidade relativa do ar	22
2.4.1.3 Temperatura radiante	22
2.4.1.4 Insolação	22
2.4.1.5 Velocidade do ar	23
2.5 MODELAGEM COM O SOFTWARE THERM	23
3 MATERIAIS E MÉTODOS	25
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO DE ESTUDO	25
3.1.1 Temperatura do Ar: Temperatura Média Mínima	27
3.1.2 Umidade Relativa do Ar	30
3.1.3 Insolação	31
3.1.4 Pressão Atmosférica	32
3.2 METODOLOGIA	33
3.2.1 Materiais	33
3.2.2 Método	34
3.2.2.1 Cálculo analítico	34
3.2.2.2 Cálculo digital	40

4 RESULTADOS	46
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA FACHADA.....	46
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	50
REFERÊNCIAS.....	51
APÊNDICE A - Cálculo analítico.....	54
ANEXO A - Projeto de revestimento similar a fachada analisada.	59

1 INTRODUÇÃO

De acordo com a NBR 15220 - 3 (2022), o clima brasileiro é subdividido em seis zonas bioclimáticas sendo elas, divididas gradualmente em “muito fria” a “muito quente” e subdivididas em: R, M, A e B e respectivamente rigoroso, moderado, úmido e seco. Estas estão relacionadas a condições climáticas de cada área territorial, desassociadas ao mapeamento político, regiões econômicas e a limites territoriais (Brasil, 2004). Para contemplar as orientações e estratégias construtivas, indicada para residências sociais, propõem-se a adequação ao clima nas zonas, as quais as residências estão inseridas. Em conformidade com a NBR 15220 – 3 (2024), para a elaboração do proceder construtivo, sobretudo para cada zona bioclimática, com o objetivo de instituir estratégias de condicionamento térmico passivo, considera-se parâmetros e condições de contorno, como: tamanho de aberturas para ventilação, proteção das aberturas, vedações externas e estratégias de condicionamento térmico.

Interpreta-se por bioclima, o estudo que relaciona o clima ao desenvolvimento dos seres vivos, próprios daquela região, e segundo Ayoade (1983, p.2) “O clima, portanto, refere-se às características da atmosfera, inferidas de observações contínuas durante um longo período” Isto posto, a bioclimatologia emprega a climatologia, “[...] estudo científico do clima” (Ayoade, 1986, p. 2), no vínculo do homem ao seu entorno, para tal fim de correlacionar as variáveis climáticas requisitadas e para o conforto térmico dos usuários (Carlo e Ferreira, 2023).

Em conformidade com Faria (2013, apud Magalhães, 2023), consta que conforto é um juízo subjetivo, neste está incluso a satisfação individual do corpo e ambiente o qual está inserido. O conceito de conforto térmico está compreendido na concepção de conforto ambiental, por conseguinte relaciona “[...] a satisfação dos usuários de uma edificação em relação à luminosidade, ao ruído, à qualidade do ar interno, à ergonomia e à temperatura, incluindo o resultado da combinação de fatores internos e externos à estrutura ” (Magalhães, 2023).

A primeira zona bioclimática, compreende menos de 10% do território nacional, “As zonas frias, zona muito fria e zona fria, são subdivididas em função da carga térmica de aquecimento (CgTA)” (NBR 15220-3, 2024). As regiões atribuídas

a esta zona bioclimática, é caracterizada por temperaturas baixas e situada em terrenos de altitudes elevadas (Nuic, 2024).

Dentre as 476 cidades compreendidas na zona bioclimática 1M (Muito fria com inverno moderado), o edifício a ser estudado situa-se na cidade de Guarapuava, localizada no Centro-Sul Paranaense. O município possui 3.168,087 km², com uma população de 182.093 hab (IBGE, 2022), e com uma altitude acima de 1000 m., localizado no bairro Boqueirão. O edifício contém tanto a parte estrutural quanto a vedação de concreto armado.

A combinação, em proporções adequadas, entre aglomerantes, agregados e água, provém na mistura homogênea crucial para a construção civil, o concreto, e quando associado a uma armadura origina no concreto armado (Muzardo; Pinheiro; Santos, 2004). A composição do mesmo é adequável a diferentes estruturas, por consequência apta para diversas concepções arquitetônicas (Giondo, 2007). No entanto, dado o teor deste estudo, se faz necessário averiguar se o desempenho térmico do material é satisfatório, e para conhecer se um material possui desempenho térmico satisfatório, é necessário estudar a capacidade, condutividade e a inércia térmica.

Consoante a NBR 15220 (2024), parte 1, define-se por capacidade térmica a quantia de calor necessária para alterar em uma unidade a temperatura de um sistema, a condutividade por sua vez pode ser definida como “Propriedade física de um material homogêneo e isotrópico, no qual se verifica um fluxo de calor constante [...]” (ABNT, 2005, p. 1), a inércia térmica ou melhor atraso térmico, o tempo decorrido entre uma alteração térmica em um sistema e a manifestação decorrente desta alteração, na faceta contrária de um elemento construtivo dado um determinado tempo, onde há variação de temperatura.

A fachada de vedação de uma edificação, são superfícies externas verticais, com função de vedar o meio interno do meio externo, a fim de proteger o ambiente interno de intempéries, correntes de ar, ruídos e alterações climáticas. Não há funções estruturais, podem ser feitas de diversos materiais, desde que tais atendam aos requisitos mínimos de desempenho estabelecidos pela NBR 15575, quanto à estanqueidade à água, isolamento térmico e acústico, durabilidade, segurança e de manutenção.

Pelos requisitos da norma, a inclinação de uma fachada externa deverá ser superior a 60°, em relação ao plano horizontal, e ser constituída por um sistema

contínuo que se desenvolve em relação a altura e a largura da edificação. Como mencionado, a mesma não possui função estrutural, devido a isso as cargas suportadas, são as do próprio peso da edificação e de cargas ambientais, diante disso, é de suma importância que as escolhas de materiais para a fachada cumpram o objetivo de garantir a integridade e o conforto da edificação no decorrer da vida útil da mesma (NBR 15575: 2024).

1.1 OBJETIVO

Este trabalho teve como objetivo analisar o desempenho térmico de uma fachada de blocos cerâmicos, em um edifício multifamiliar, localizado na região do centro-sul do estado do Paraná.

- Examinar o desempenho térmico do estudo de caso com o software Therm.
- Analisar os resultados de desempenho térmico dos sistemas de vedações consoante aos parâmetros da NBR 15220: Desempenho de edificações habitacionais (2022) e compará-los a NBR 15575 – 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas (2021).

2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

2.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS

A ONU (Organização das Nações Unidas), entende por mudanças climáticas: alterações a longo prazo de parâmetros de condições atmosféricas. Advém desde os primórdios até os dias atuais, provenientes de causas naturais e ações antrópicas, entretanto desde o fim do século XVIII, ações antrópicas tornaram-se os maiores agentes de tais variações.

Consoante ao IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change - Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas), o Sexto Relatório de Avaliação, indicado pelo IPCC (2023, p.20):

As atividades humanas, principalmente através das emissões de gases de efeito estufa, inequivocamente causaram o aquecimento global, com a temperatura da superfície global atingindo um valor de 1,1°C mais alto entre 2011-2020 do que no período de 1850-1900.

Respalado pelas informações do último relatório de avaliação do IPCC, a instabilidade climática apresenta-se cada vez mais iminente.

Ainda que as emissões fossem descontinuadas os efeitos são acumulativos e duradouros. Em virtude dos intitulados de gases do efeito estufa de longa vida, são eles: gás carbônico, gás metano e óxido nitroso, os quais proporcionam uma disposição uniforme na atmosfera, intervindo nas mudanças climáticas (Veiga, 2008).

2.2 CONFORTO TÉRMICO

De acordo NBR 15220-1 (2024), o conforto térmico é a “satisfação psicofisiológica de um indivíduo com as condições térmicas do ambiente”.

Conforme aludido, o conforto térmico, é inerente a cada indivíduo, por tanto, subjetivo. Além de um conceito “abstrato”, o mesmo é depende de variáveis individuais e ambientais, (Magalhães, 2023), as quais as variáveis ambientais convertem de forma unilateral o conforto de cada usuário, proveniente de respostas fisiológicas, interpretando como neutralidade, conforto ou desconforto térmico.

A principal NBR responsável por abordar o tema é a já mencionada NBR 15220 – Desempenho Térmico de Edificações (2022).

2.3 DEFINIÇÕES

2.3.1 Calor Específico

O Calor Específico é a grandeza que define a temperatura obtida por um elemento, após receber uma determinada porção de energia (calor) (IFSC, 2019). Cada elemento é constituído por materiais, que dispõe de capacidade calorífica específica diversas, o que podem variar entre valores positivos e negativos.

Se positivo, a energia transferida para o corpo faz-se aumentar a temperatura do mesmo e no caso de a capacidade calorífica for negativa, consiste em o calor ser cedido pelo corpo e diminuir a temperatura. Conforme Young (2004, apud Maia, 2021), o calor específico decorre de uma transformação de temperatura e conforme a temperatura inicial e do intervalo entre estas.

2.3.2 Emissividade

Admite-se que “a Emissividade é uma propriedade física dos materiais que diz qual a quantidade de energia térmica é emitida por unidade de tempo” (Lamberts; Dutra, Pereira, 2014), pela NBR, a emissividade é o “quociente da taxa de radiação emitida por uma superfície pela taxa de radiação emitida por um corpo negro, à mesma temperatura” (NBR 15220-1, 2024).

2.3.3 Capacidade Térmica

A definição da Capacidade Térmica, conforme a NBR 15520-1 (2024), é a quantidade de calor necessária para variar em uma unidade a temperatura de um sistema.

E de acordo com a segunda parte da mesma NBR, calcula-se a capacidade térmica:

$$C_T = \sum_{i=1}^n \gamma_i \cdot R_i \cdot c_i \cdot \rho_i = \sum_{i=1}^n e_i \cdot c_i \cdot \rho_i$$

Onde,

γ_i : Condutividade térmica do material (W/mK);

R_i : Resistência térmica do material (m²K/W);

e_i : Espessura da camada (cm);

c_i : Calor específica do material (kJ/kgK);

ρ_i : Densidade da massa aparente térmica do material (m²K/W);

2.3.4 Carga Térmica de Aquecimento

Como a NBR, a Carga Térmica de Aquecimento (CgTA), refere-se à “quantidade de calor a ser fornecida ao ar para manter as condições desejadas de um ambiente” (NBR 15220-1, 2024).

2.3.5 Carga Térmica de Refrigeração

Para a definição de Carga Térmica de Refrigeração (CgTR) é a “quantidade de calor a ser retirada do ar para manter as condições desejadas em um ambiente” (NBR 15220-1, 2024).

2.3.6 Carga Térmica Total

Pela NBR a Carga Térmica Total (CgTT), diz respeito a quantidade de calor que pode ser fornecida ou retirada do ar, para que proporcione e conserve um ambiente com as condições quistas (NBR 15220-1, 2024).

2.3.7 Condutividade Térmica

Entende-se por Condutividade Térmica (λ), a propriedade física sujeita a densidade do material e por isso é possível mensurar a capacidade de condução de calor deste material em um intervalo de tempo estipulado.

Consoante a NBR, a Condutividade Térmica é a propriedade física de um material homogêneo e isotrópico, na qual se verifica um fluxo de calor constante e com densidade de 1 W/m^2 , quando esse material é submetido a um gradiente de temperatura uniforme de 1 K/m (NBR 15575-1, 2024).

2.3.8 Coeficiente de Transferência Térmica

O Coeficiente da Transferência Térmica (H), trata-se da “taxa de fluxo de calor devido à transferência térmica pela superfície de um edifício, dividida pela diferença de temperaturas entre os ambientes em ambos os lados da superfície” (NBR 15575 - 1, 2024).

2.3.9 Transmitância Térmica

Entende-se por Transmitância Térmica a transmissão de calor em unidade de tempo e através de uma área unitária de um elemento ou componente construtivo (NBR 15575-1, 2024).

A quantidade que um elemento conduz calor de uma face até sua interface, por uma determinada duração é a transmitância térmica, também se entende como o inverso da capacidade térmica e é definida pela equação:

$$U = \frac{1}{R}$$

Onde:

U : Transmitância térmica ($\text{W/m}^2\text{K}$);

R : Resistência térmica ($\text{m}^2\text{K/W}$);

2.3.10 Resistência Térmica

A propriedade de resistir a mudança de temperatura, é intitulada de Resistência Térmica. Para calcular essa resistência, tem-se o quociente entre a espessura de um material sobre a condutividade térmica do mesmo, dada a terceira equação:

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

Onde:

R : Resistência térmica (m²K/W);

e : Espessura (cm);

λ : Condutividade térmica (W/mK);

2.3.11 Resistência Térmica de Elementos e Componentes

Concerne a Resistência Térmica de elementos e componentes o “quociente da diferença de temperatura verificada entre as superfícies de um elemento ou componente construtivo pela densidade de fluxo de calor, em regime estacionário” (NBR 15575-1, 2024).

2.3.12 Absortância à Radiação Solar

Interpreta-se por Absortância à Radiação Solar a quantidade de energia térmica absorvida por determinado material, visto que, quando a radiação solar incide sobre um elemento construtivo, parte refletida e parte absorvida, isto se o mesmo for opaco. Como a NBR, a Absortância à Radiação Solar é o “quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície” (NBR 15575-1, 2024).

2.3.13 Zona Bioclimática

De acordo com a NBR 15220-3 (2024), o que caracteriza uma zona bioclimática é a região homogênea no que diz respeito ao clima e seus elementos, que se relaciona entre o ambiente construído e o conforto humano. E conforme a NBR 15220-3 (2024) vigente, o país foi dividido em seis zonas bioclimáticas e gradualmente divididas em doze, discernidas em função de sua carga térmica de aquecimento (CgTA), as zonas frias e zonas muito frias e as demais zonas subdivididas conforme a umidade relativa.

2.4 VARIÁVEIS DO CONFORTO TÉRMICO

Indica-se seis fatores que influenciam o conforto térmico dos indivíduos sendo quatro ambientais e dois individuais. Os fatores podem atuar independentes entre si, porém quando unidos favorecem o conforto térmico dos usuários. São eles: temperatura do ar, temperatura radiante, velocidade do ar, umidade do ar, natureza fisiológica e natureza sociológica.

2.4.1 Fatores Ambientais

Fatores ambientais estão relacionados aos aspectos físicos do ambiente.

2.4.1.1 Temperatura do ar

Definido em 1990, pela WMO (World Meteorological Organization - Organização Meteorológica Mundial), a temperatura é a medida do nível de agitação entre moléculas, relativa ao deslocamento de energia cinética de um átomo ou molécula. Assim quanto maior o nível de agitação das moléculas maior é a temperatura ambiente, e o inverso é verdadeiro. A escala de medição climática tanto na região de estudo quanto no país é a Celsius (°C) (Brasil, 2019).

2.4.1.2 Umidade relativa do ar

A relação entre a água presente no ar (Umidade Absoluta) e o máximo de água que pode haver numa mesma temperatura (ponto de saturação), é chamada de umidade relativa. Esta é uma das indicadores utilizadas para prever condições meteorológicas locais (Brasil, 2024).

Segundo Pinheiro e Crivelaro (2020), quando a umidade está estabelecida entre 40 e 70%, a porcentagem não afeta tanto no conforto térmico. Porém quando a umidade relativa do ar for acima de 80% ocorre a dificuldade de evaporação de suor da pele, sendo esse o principal mecanismo fisiológico de Termorregulação.

As variações que podem ocorrer na umidade relativa do ar, ocorrem devida a variação de temperatura e a presença ou a falta de arborização (BRASIL, 2024). O estudo do clima e da umidade do ar, é um dos parâmetros no que tange o conforto térmico.

2.4.1.3 Temperatura radiante

Compreende por temperatura radiante a energia (calor) que é emitida por um corpo com temperatura acima da temperatura ambiente. No caso, se no ambiente houver fontes de calor, (aquecedores, fornos, chuveiros, calor radiante do sol, entre outras). Consta que a influência da temperatura radiante interfere mais na forma com que os usuários ganham ou perdem calor para o ambiente do que a temperatura do ar (Pinheiro e Crivelaro, 2020).

2.4.1.4 Insolação

Segundo Caviglione (2000) et al. Wrege (2011), a insolação solar é a quantidade em horas, que uma superfície terrestre fica exposta a luminosidade solar ou radiação solar no período de um dia. Sabe-se que a quantia de horas que uma superfície fica exposta a radiação solar, é categórico quanto a variação de temperatura, e é de conhecimento geral que a incidência de radiação é acentuada em dias claros do que em dias nublados, no entanto é importante salientar que a

incidência solar distingue-se conforme o horário do dia e as estações do ano. Por conseguinte, é notável sua interferência no conforto térmico.

2.4.1.5 Velocidade do ar

Pela movimentação do ar, é possível resfriar ou aquecer um ambiente. A respeito do conforto térmico, o deslocamento do ar impacta de forma significativa, visto que os usuários são sensíveis a estas. O movimento do ar em ambientes quentes ou úmido pode impulsionar a perda de calor por convecção, mesmo que não haja alterações na temperatura. Como a prática de atividades físicas pode aumentar o movimento relativo do ar, a velocidade do mesmo é proporcional ao nível de esforço requerido no exercício. O sistema de ventilação, independente do clima local, deverá distribuir o ar com precisão, respeitando a direção e intensidade do ar, pois como referido, as mínimas variações podem ser perceptíveis aos usuários e impactar o conforto dos mesmos (Pinheiro e Crivelaro, 2020).

2.5 MODELAGEM COM O SOFTWARE THERM

Desenvolvido pelo Laboratório Nacional de Lawrence Berkeley (LBNL - Lawrence Berkeley National Laboratory), Laboratório Nacional do Departamento de Energia do governo americano, o qual disponibiliza licenças gratuitas, o software foi desenvolvido para a simulação do comportamento térmico de componentes construtivos, mediante a resoluções das equações de condução de calor em regime estacionário.

Fundamentado no método dos elementos finitos (MEF), o qual é uma técnica numérica amplamente empregada na resolução de equações diferenciais parciais que regem fenômenos físicos complexos, como a condução de calor, entre outros. No âmbito de simulações térmicas, o MEF possibilita a determinação da distribuição e propagação do calor em corpos com geometrias desiguais e com composição material heterogênea (Ziekiewicz; Taylor, 2000).

Por meio do MEF, o programa possibilita a modelagem detalhada da distribuição de temperatura e do fluxo térmico em geometrias bidimensionais complexas, com base nas propriedades termofísicas específicas dos materiais

constituintes da seção analisada, tais como condutividade térmica, calor específico e densidade. O software é muito empregado na avaliação do desempenho térmico de elementos construtivos, concedendo a identificação de regiões críticas sujeitas a fluxos térmicos intensificados, que comprometem a eficiência energética e o conforto ambiental da edificação (Berkeley Lab, 2022).

O software Therm disponibiliza ferramentas gráficas que permitem a modelagem da geometria dos elementos construtivos, permitindo a inserção de camadas de materiais com distintas condutividades térmicas, bem como a definição de condições de contorno, como temperaturas fixas ou fluxos de calor prescritos. Esses recursos viabilizam a simulação do comportamento térmico realista da envoltória da edificação, considerando a interação entre os materiais e o ambiente externo.

Os resultados obtidos pelo software fornecem uma base sólida para a tomada de decisões no design de edificações, principalmente no que tange ao desempenho térmico e à eficiência energética. O Therm calcula a resistência térmica de cada camada de material presente no modelo, considerando a espessura e a condutividade térmica, assim como a distribuição de temperatura, que pelo software, gera mapas de temperatura ao longo da seção modelada, possibilitando a visualização de variações térmicas em diferentes pontos dos materiais e das interfaces. Colaborando a identificação de regiões que podem estar expostas a temperaturas excessivas ou insuficientes, por conseguinte comprometendo o conforto térmico interno, entre outros. Esses recursos viabilizam a simulação do comportamento térmico realista da envoltória da edificação, considerando a interação entre os materiais e o ambiente externo.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia deste estudo foi estruturada em duas etapas: a realização dos cálculos de forma manual e a comparação com os resultados obtidos por meio do software Therm. A metodologia está fundada a NBR 15220-2 de 2022, norma de desempenho térmico de edificações - Componentes e elementos construtivos das edificações — Resistência e transmitância térmica — Métodos de cálculo (ISO 6946:2017 MOD).

A edificação a ser estudada está inserida na cidade de Guarapuava, Paraná, no bairro Boqueirão, na Travessa Arlindo Antunes de Almeida, nº 566 (figura 1).

Figura 1: Localização da edificação de estudo.



Fonte: Google Maps (2025).

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO DE ESTUDO

A vida urbana atual apresenta diversos desafios sob a perspectiva do conforto e bem-estar da sociedade. A relação entre altitude e alterações climáticas já

é amplamente reconhecida pelo senso comum. No entanto, variáveis como o tipo de uso, a ocupação e a cobertura do solo também exercem influência direta sobre essas mudanças. (Costa, 2017).

A cidade paranaense de Guarapuava, localizada no Sul do país e no Centro-Sul do estado do Paraná, no terceiro planalto, é limitada pelas cidades de Campina do Simão e Turvo, ao Norte, Pinhão ao Sul, Prudentópolis e Inácio Martins a Leste e Candói, Cantagalo e Goioxim a Oeste (Guarapuava, 2023).

A região localizada onde o presente estudo ocorre, é influenciada por massas tropicais características, como a Massa Tropical Continental e Massa Tropical Atlântica no verão e Massa Polar Atlântica durante o inverno (Borsato, 2016). O clima considerado moderado, subtropical e úmido, possui invernos com geadas e verões amenos, sua média de temperatura por ano é de 16,8°C, com média máxima de 36°C e média mínima de 6,8°C (Guarapuava, 2023).

O clima em si, é sujeito a atuação de fatores estáticos e dinâmicos. Fatores estáticos correspondem à latitude, altitude, relevo e proximidade do oceano, são tais os responsáveis pela quantidade de energia solar incidente na superfície e a forma com que esta manifesta na temperatura do ar, já fatores dinâmicos se dá pela movimentação de sistemas atmosféricos, caracterizados por massas de ar e frentes relacionadas a estas (Thomaz e Vestena, 2006).

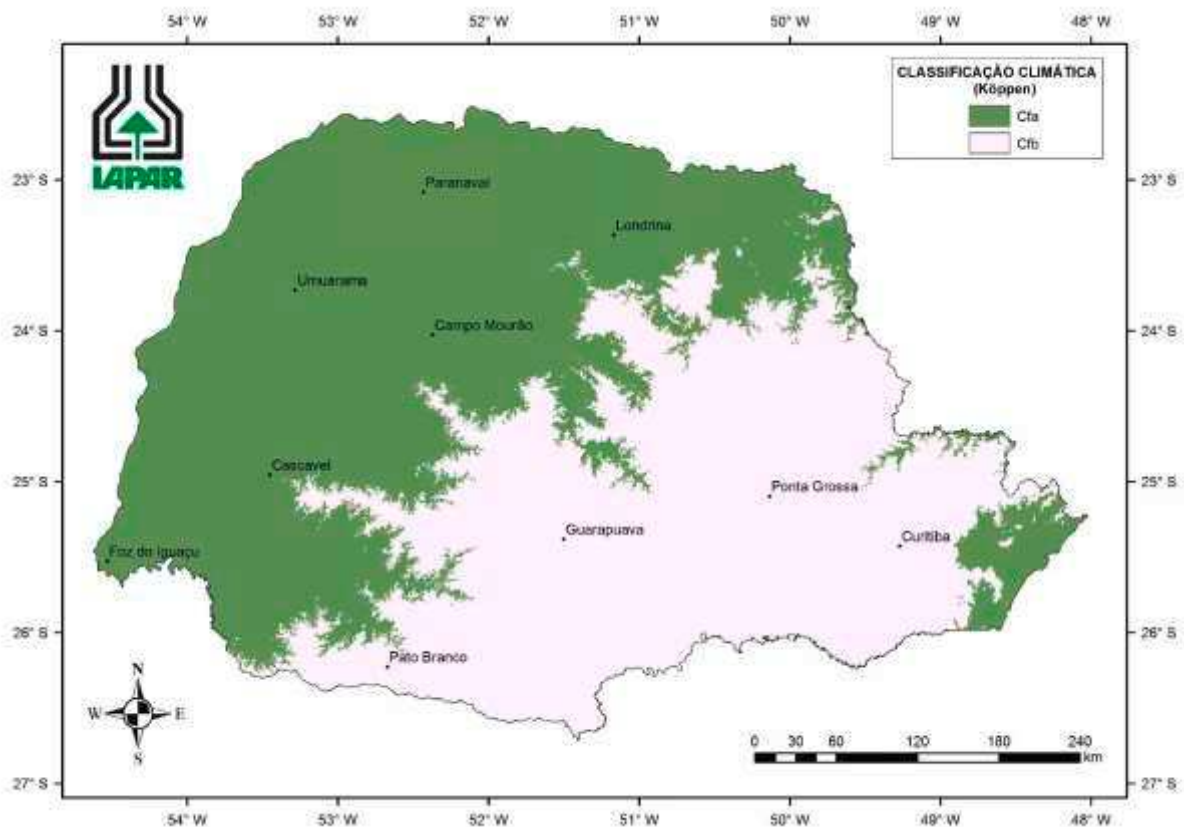
Os fatores que afetam o clima local são a altimetria, distanciamento do mar e a cobertura vegetal (Monteiro, 1963 apud Thomaz e Vestena, 2006). Por ser uma cidade com altitude entre 800 metros até 1200 metros superior ao nível do mar, e pelo objeto de estudo estar situado na área urbana da cidade, que as cotas altimétricas alteram entre 900 a 1140 metros (Andrade e Costa, 2017).

Em concordância com Thomaz e Vestena, a radiação solar obtida em qualquer lugar, depende de onde é localizado e da estação do ano, assim como o período do dia e a duração do mesmo, da latitude (interferindo na intensidade de radiação solar recebida, e conseqüentemente na relação entre a radiação solar e a temperatura do ar) e da composição atmosférica (uma vez, que a atmosfera absorve, reflete e difunde a energia solar).

Conforme a classificação climática de Köppen, o IDR – Paraná (Instituto de Desenvolvimento Rural, 2019) considera o clima da cidade como “Cfb” (Figura 2), definido como clima temperado, com verões amenos, com geadas críticas. Os acontecimentos dessas geadas, duram um intervalo de dez a vinte cinco

dias anual, precipitações entre 1.100 a 2.000 mm, distribuídas uniformemente, sem estação seca (Embrapa, 1993).

Figura 2: Classificação Climática do Paraná – Köppen.



Fonte: IAPAR – IDR – Paraná (2019).

3.1.1 Temperatura do Ar: Temperatura Média Mínima

Pertencente ao Ministério da Agricultura e Pecuária (Mapa), o Inmet - Instituto Nacional de Meteorologia, tem como incumbência promover e coordenar programas para a produção de informações meteorológicas pertinentes e relevantes, com o intuito de mitigar riscos e ao desenvolvimento sustentável do setor agropecuário, à conservação ambiental e à segurança da sociedade nacional.

Dentre as responsabilidades do Inmet, monitorar o tempo e o clima são fundamentais e primordiais para o presente estudo. A previsão é baseada em dados atmosféricos (temperatura, umidade relativa do ar, direção e velocidade do vento, pressão atmosférica, entre outros), que são coletados por estações meteorológicas, em modelos numéricos, imagens de satélites e radares meteorológicos (Brasil, 2025).

No país, o Inmet administra mais de 700 estações meteorológicas distribuídas em todo o território nacional, as estações são divididas em automáticas (que captam dados a cada hora) e as convencionais (que captam três vezes ao dia). Tais dados são recebidos, processados e enviados para a SEDE em Brasília – DF, que armazena os dados em um banco de dados oficial (Brasil, 2025).

O município em que se localiza o edifício estudado não possui estação meteorológica, no entanto a um pouco mais de sessenta e um quilômetros e quatrocentos metros (61,4 km) se encontra a estação meteorológica mais próxima, situada em Inácio Martins, cidade ao leste de Guarapuava (Figura 3), ambas estão localizadas no terceiro planalto paranaense.

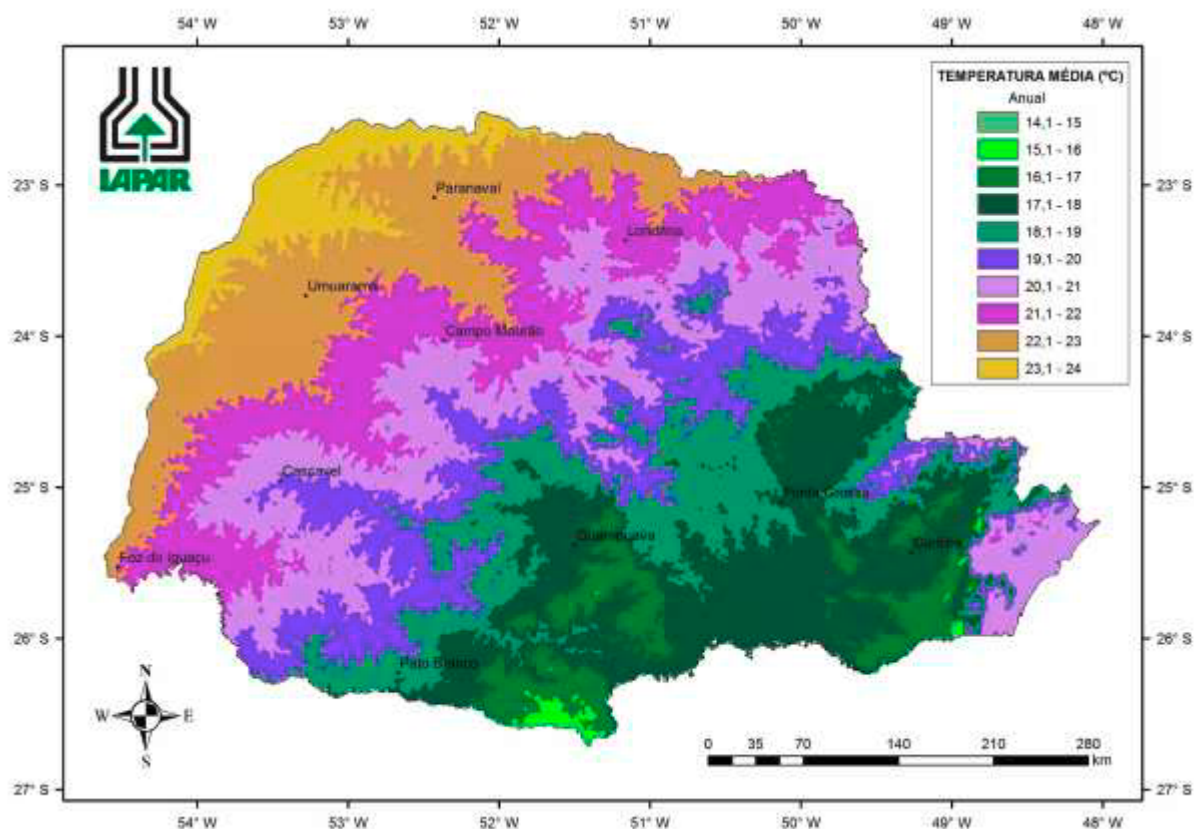
Figura 3: Limites do município - Base Cartográfica ITCG (2010).



Fonte: IPARDES (2025).

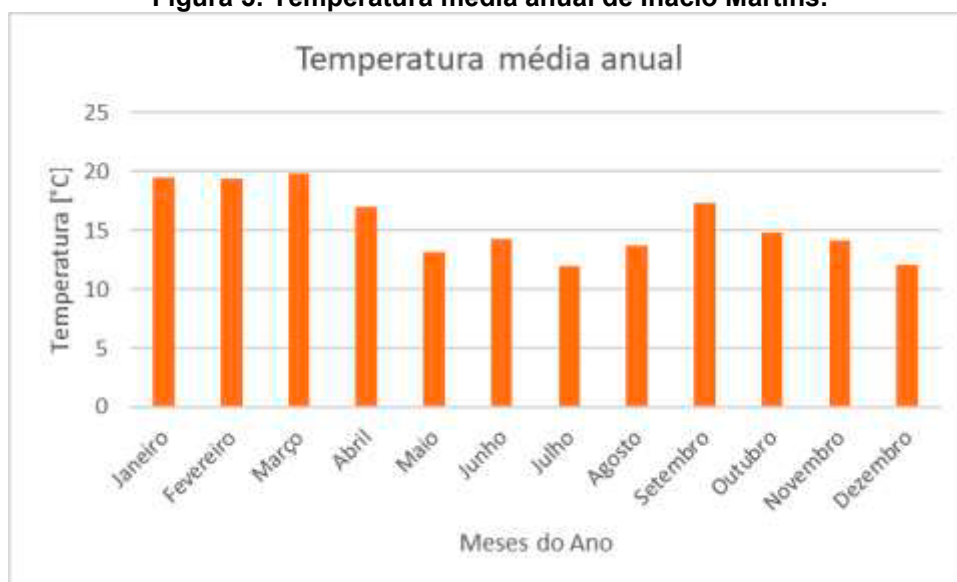
Como referido, a temperatura do ar é afetada pelos fatores estáticos climáticos, e no caso dos municípios a temperatura média anual é entre 17,1 a 18 °C (figura 4), a média do município é de 16,8°C (figura 5).

Figura 4: Temperatura média anual do Paraná.



Fonte: IAPAR – IDR – Paraná (2019).

Figura 5: Temperatura média anual de Inácio Martins.

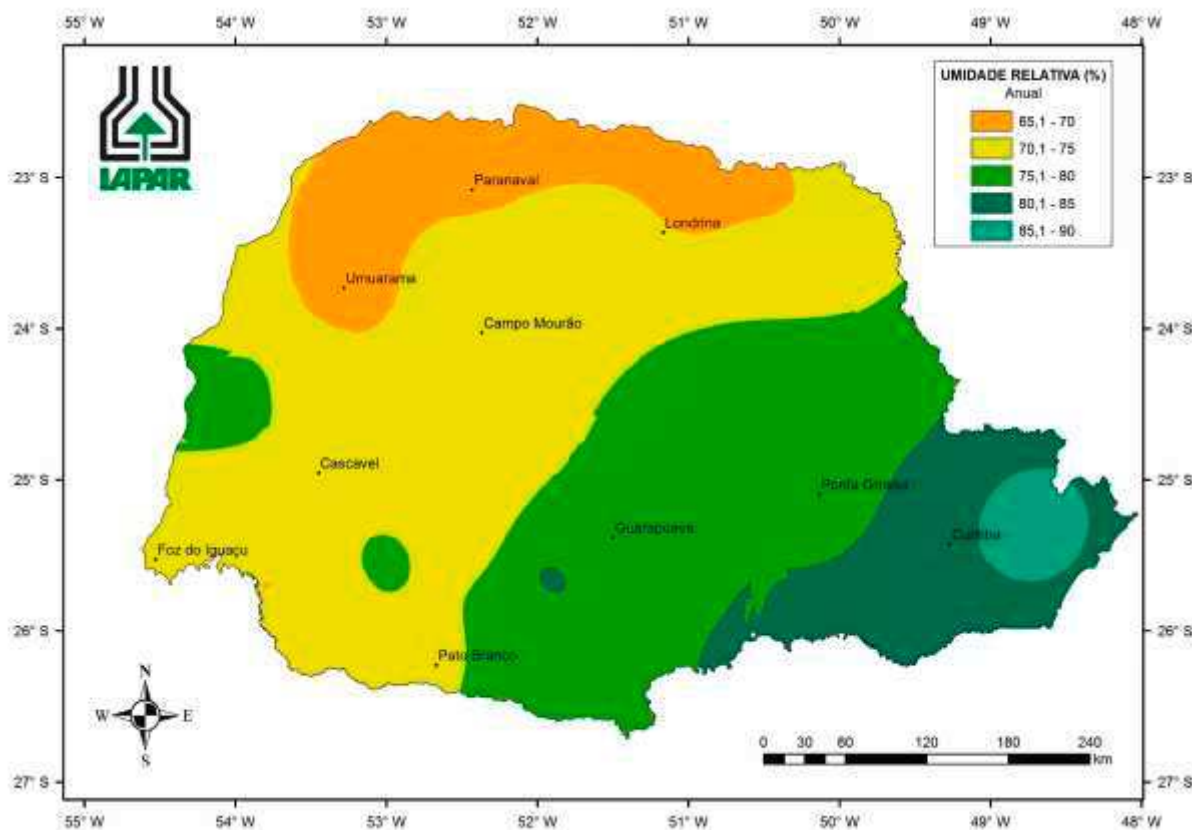


Fonte: INMET adaptado (2025).

3.1.2 Umidade Relativa do Ar

A umidade relativa do ar do município, situa-se em um intervalo de 75,1 a 80% (figura 6), com uma média de 77% (figura 7), conforme o mapa de umidade relativa do antigo IAPAR, atual IDR – PR, 2019.

Figura 6: Umidade Relativa do Ar Anual do Paraná.



Fonte: IAPAR – IDR – Paraná (2019).

Figura 7: Umidade Relativa do Ar média anual de Inácio Martins.

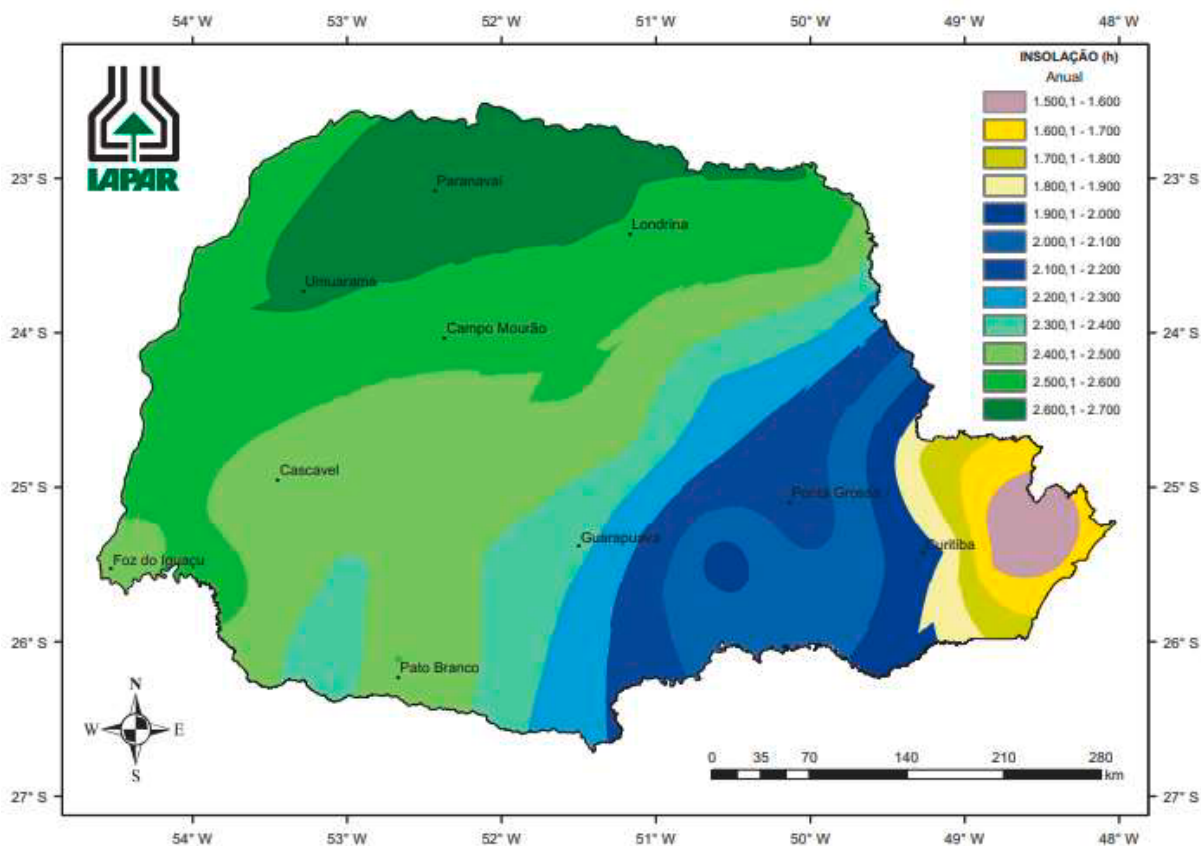


Fonte: INMET adaptado (2025).

3.1.3 Insolação

Segundo Thomaz e Vestena, a insolação é determinada pela durabilidade que o brilho solar incide sobre determinado lugar. No caso de Guarapuava, a média anual está entre 2.200 a 2.300 horas (figura 8), de acordo com o antigo IAPAR, atual IDR – PR, 2019.

Figura 8: Insolação Anual do Paraná.



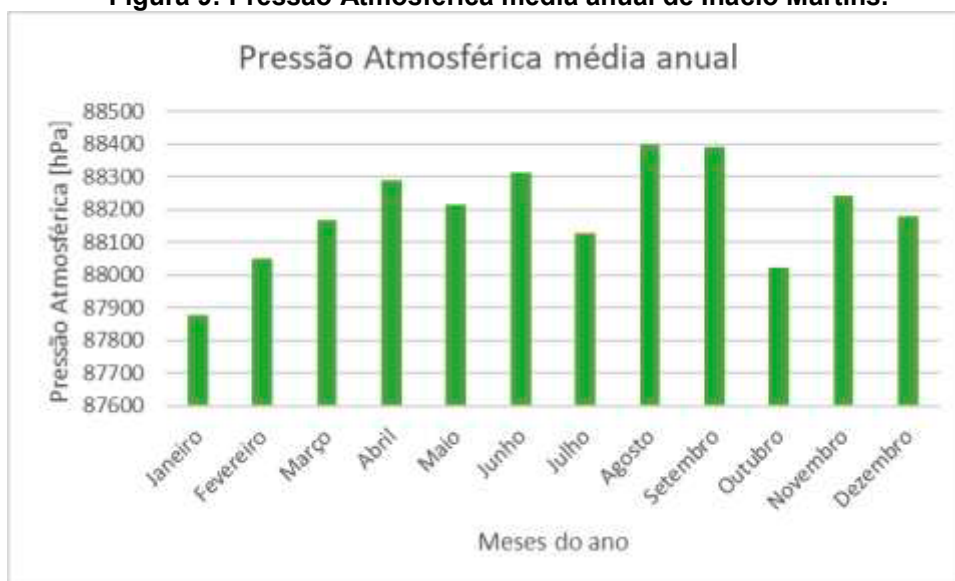
Fonte: IAPAR – IDR – Paraná (2019).

3.1.4 Pressão Atmosférica

Em teoria, a pressão atmosférica é entendida como o peso do ar sobre a superfície terrestre, que por sua vez é o resultado da relação entre a massa atmosférica e a força gravitacional planetária. A pressão atmosférica está submetida a alterações, devido as horas, dias, semanas, estações, altitudes e latitudes. Portanto “Há uma relação direta entre a circulação do ar e o estabelecimento de um gradiente de pressão atmosférica” (Jardim, 2011).

Em concordância com a convecção térmica, um volume de ar aquecido torna-se menos denso do que o mesmo volume de ar frio, quanto mais denso mais elevados são os níveis de pressão, por ser uma cidade na zona bioclimática 1M, a cidade de Inácio Martins contém níveis de pressão elevados (figura 9).

Figura 9: Pressão Atmosférica média anual de Inácio Martins.



Fonte: INMET adaptado, 2025.

3.2 METODOLOGIA

O presente estudo refere-se a análise e verificação dos parâmetros normativos da fachada de vedação da edificação citada, a fim de avaliar o conforto térmico. Apresenta-se nesta seção os procedimentos metodológicos e os instrumentos utilizados para tal fim.

3.2.1 Materiais

- Paquímetro digital marca *mtx* modelo 316119 (figura 10): Instrumento de medição dimensional de alta precisão de 150 mm em Aço Inox. No estudo utilizado para realizar medições lineares internas e externa. Distinto por possuir um sistema digital de leitura, facilitando a obtenção de resultados com maior rapidez e precisão.

Figura 10: Paquímetro digital "mtx" modelo 316119.



Fonte: Autoria própria (2025).

3.2.2 Método

O método utilizado no estudo é pautado na NBR 15220: 2022. Realizou-se a análise do isolamento térmico da fachada da edificação, segmentando o material que a compõe (blocos cerâmicos) em seções, com o objetivo de calcular a resistência térmica e a capacidade térmica do material.

3.2.2.1 Cálculo analítico

O cálculo iniciou-se após a medição das dimensões do bloco cerâmico, para isso, com o uso do paquímetro digital aferiu as espessuras da cerâmica e o tamanho dos vazios de cinco amostras de blocos (figura 11), do mesmo modelo que os utilizados na fachada do edifício.

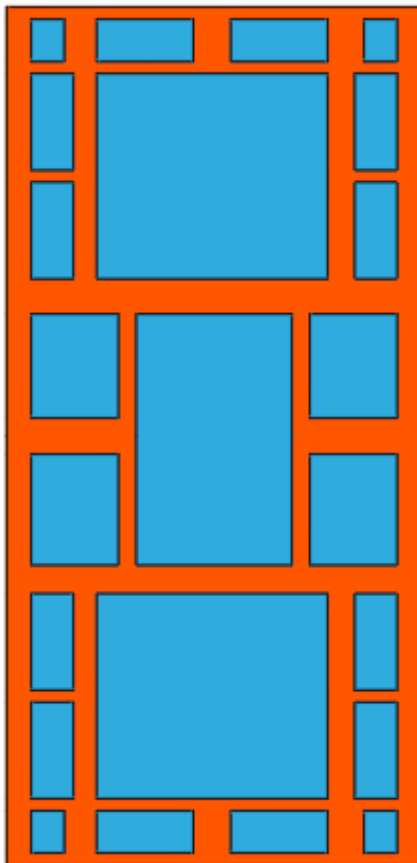
Figura 11: Blocos cerâmicos de dimensões 14x19x29 cm.



Fonte: Autoria própria (2025).

Após as medições foi realizado as médias das espessuras e dos vazios dos blocos, e realizada uma modelagem no software AutoCAD, para melhor representá-los de forma padronizada (figura 12).

Figura 12: Bloco cerâmico modelado.

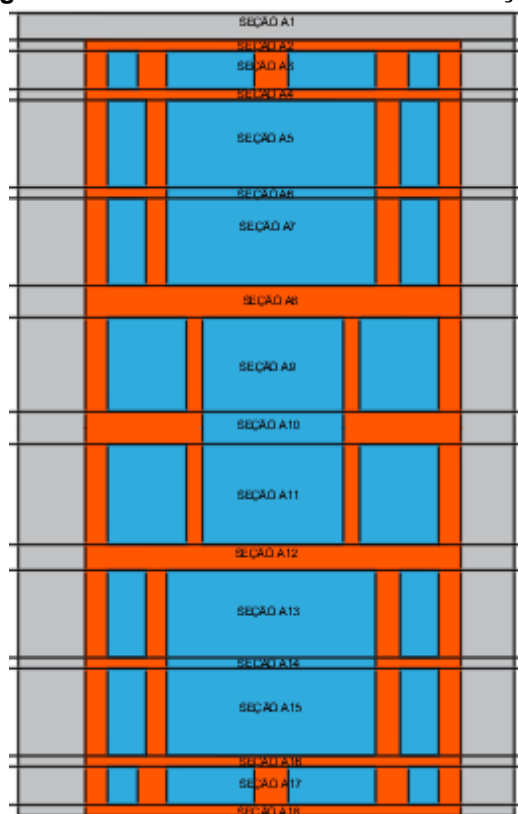


Fonte: Autoria própria (2025).

Para o cálculo analítico respaldou-se da NBR 15220-2 (2022).

Por ser um bloco homogêneo, dividiu o mesmo em seções homogêneas para calcular a resistência térmica do mesmo. Cada seção tinha início e fim a cada novo vazio, devido a isso, o bloco foi dividido em 18 seções (figura13).

Figura 13: Bloco cerâmico dividido em seções



Fonte: Autoria própria (2025).

Como a espessura é conhecida, anteriormente aferida, e a condutividade térmica do bloco cerâmico está estabelecida em $\lambda = 0,9 \frac{W}{m \cdot K}$. Foi necessário calcular a condutividade térmica de cada vazio. Nas seções que apresentavam vazios, as condutividades dos mesmos foram calculadas com base nos dados de espessuras de vazios da tabela 8 da NBR 15220-2 (2022) (figura 14).

Figura 14: Tabela 8 – Resistência térmica de camadas de ar não ventiladas com superfícies

Espessura da camada de ar mm	Resistência térmica m ² ·K/W		
	Direção do fluxo de calor		
	Ascendente	Horizontal	Descendente
0	0,00	0,00	0,00
5	0,10	0,10	0,10
7	0,12	0,12	0,12
10	0,14	0,14	0,14
15	0,15	0,15	0,15
25	0,15	0,16	0,17
50	0,15	0,16	0,19
100	0,15	0,16	0,19
300	0,15	0,16	0,20

NOTA Valores intermediários são obtidos por meio de interpolação linear.

Fonte: ANBT adaptada (2025).

Como houveram vazios que não tinham as espessuras listadas, foi necessário realizar a interpolação linear dos dados, com o auxílio do Excel.

Após a conclusão de medições e consideradas as propriedades térmicas previamente definidas dos materiais envolvidos, iniciou os cálculos relativos à área de incidência do fluxo de calor.

Na sequência, realizaram-se os cálculos das áreas das seções e de suas respectivas proporções. Em conformidade com os parâmetros estabelecidos pela norma vigente, procedeu-se à estimativa da resistência térmica de cada seção, tomando-se inicialmente o limite superior dessa resistência.

Para tanto, foram consideradas as espessuras das camadas de emboço, tanto interna quanto externa, assim como as resistências térmicas superficiais interna (R_{si}) e externa (R_{se}), conforme a equação abaixo:

$$R_{tot,upper} = R_{se} + \frac{e_{emb,ext}}{\lambda_{arg}} + \frac{e_{cer}}{\lambda_{cer}} + (interpolação\ linear\ do\ vazio) + \frac{e_{emb,int}}{\lambda_{arg}} + R_{si}$$

Sendo:

R_{se} = Resistências térmica superficial externa ($0,04 \frac{m^2 K}{W}$);

$e_{emb,ext}$ = espessura do emboço externo (2,5 cm);

λ_{arg} = condutividade da argamassa ($1 \frac{W}{m^2 K}$);

e_{cer} = espessura da cerâmica (variável);

λ_{cer} = condutividade do bloco cerâmico ($0,9 \frac{W}{m^2 K}$);

$e_{emb,int}$ = espessura do emboço interno (2 cm);

R_{si} = Resistências térmica superficial interna ($0,13 \frac{m^2 K}{W}$).

Para o cálculo da resistência térmica correspondente ao limite inferior, adotou-se metodologia semelhante à empregada na estimativa do limite superior. No entanto, nesta etapa, as seções são calculadas considerando apenas os blocos e vazios, e após o cálculo de todas as seções, calcula-se a resistência térmica da argamassa no sentido vertical (que irá unir os blocos longitudinalmente), quanto a horizontal (que irá uni-los uns por cima dos outros).

$$R_{tot,lower} = R_{se} + \frac{e_{emb,ext}}{\lambda_{arg}} + \frac{1}{\frac{f_{Bloco}}{R_{Bloco}} + \frac{f_{AH}}{R_{AH}} + \frac{f_{AV}}{R_{AV}}} + \frac{e_{emb,int}}{\lambda_{arg}} + R_{si}$$

Sendo:

R_{se} = Resistências térmica superficial externa ($0,04 \frac{m^2 K}{W}$);

$e_{emb,ext}$ = Espessura do emboço externo (2,5 cm);

λ_{arg} = Condutividade da argamassa ($1 \frac{W}{m^2 K}$);

f_{Bloco} = Porcentagem representativa da argamassa vertical e horizontal no bloco cerâmico;

R_{Bloco} = Resistência térmica do bloco cerâmico;

f_{AV} = Porcentagem representativa da argamassa vertical;

R_{AV} = Resistência térmica da argamassa vertical;

f_{AH} = Porcentagem representativa da argamassa horizontal;

R_{AH} = Resistência térmica da argamassa horizontal;

$e_{emb,int}$ = espessura do emboço interno (2 cm);

R_{si} = Resistências térmica superficial interna ($0,13 \frac{m^2 K}{W}$).

A resistência térmica total foi obtida a partir da média aritmética dos valores correspondentes aos limites superior e inferior.

$$R_{tot,upper} = \frac{R_{tot,upper} + R_{tot,lower}}{2}$$

Com base nesse resultado, procedeu-se ao cálculo da transmitância térmica.

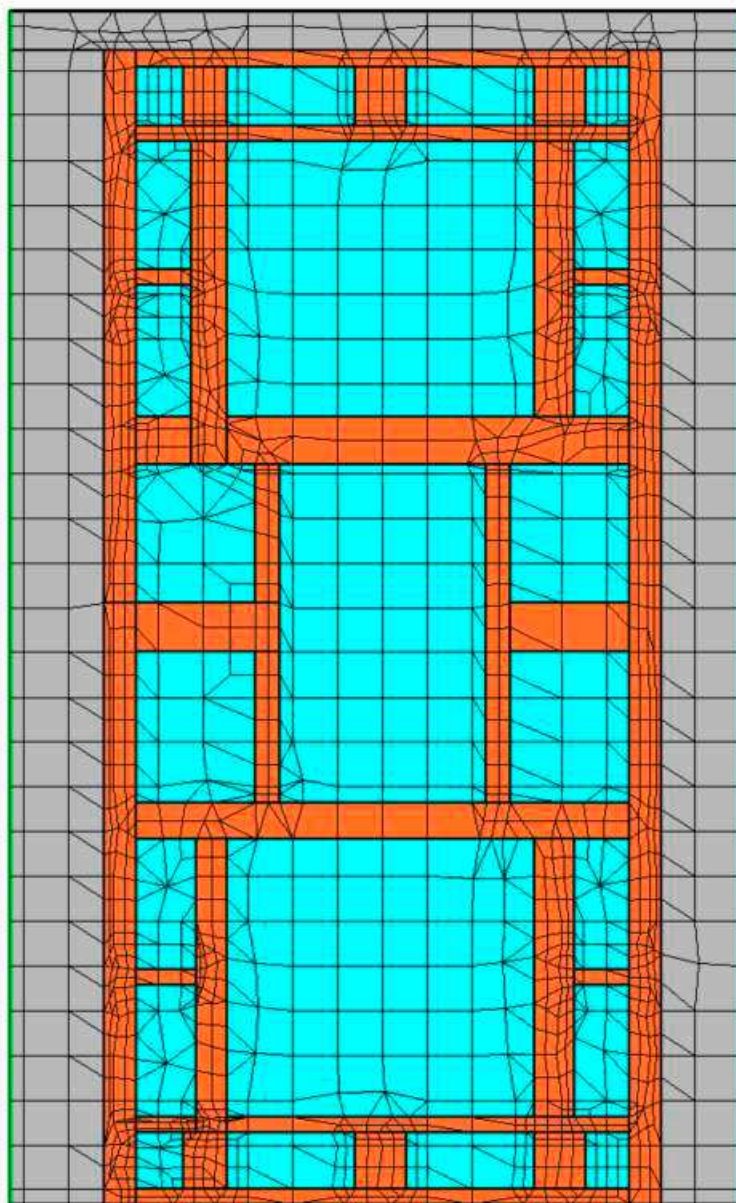
$$U = \frac{1}{R}$$

Por fim, estimou-se a capacidade térmica do sistema, conforme os critérios estabelecidos no Anexo NA da NBR vigente.

3.2.2.2 Cálculo digital

O software Therm realiza a simulação das propriedades térmicas do bloco cerâmico em duas dimensões, criando uma malha (figura 15) o que implica na desconsideração da espessura lateral do bloco, bem como da presença da argamassa e de sua condutividade térmica. Cada material foi inserido na biblioteca do software, cada qual com sua condutividade.

Figura 15: Malha do bloco cerâmico.



Fonte: Autoria própria (2025).

Para os vazios, calculou-se a condutividade térmica pela espessura já conhecida e pela resistência térmica, dada a Tabela 8 da NBR 15220-2 (2022), pela equação:

$$R = \frac{e}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{e}{R}$$

As condições de contorno foram inseridas, por meio de sua transmitância térmica, como é conhecido os valores de Rse e Rsi, calculou-se:

$$U = \frac{1}{R}$$

$$R_{se} = 0,04 \frac{m^2 K}{W} \Rightarrow U = \frac{1}{R_{se}}$$

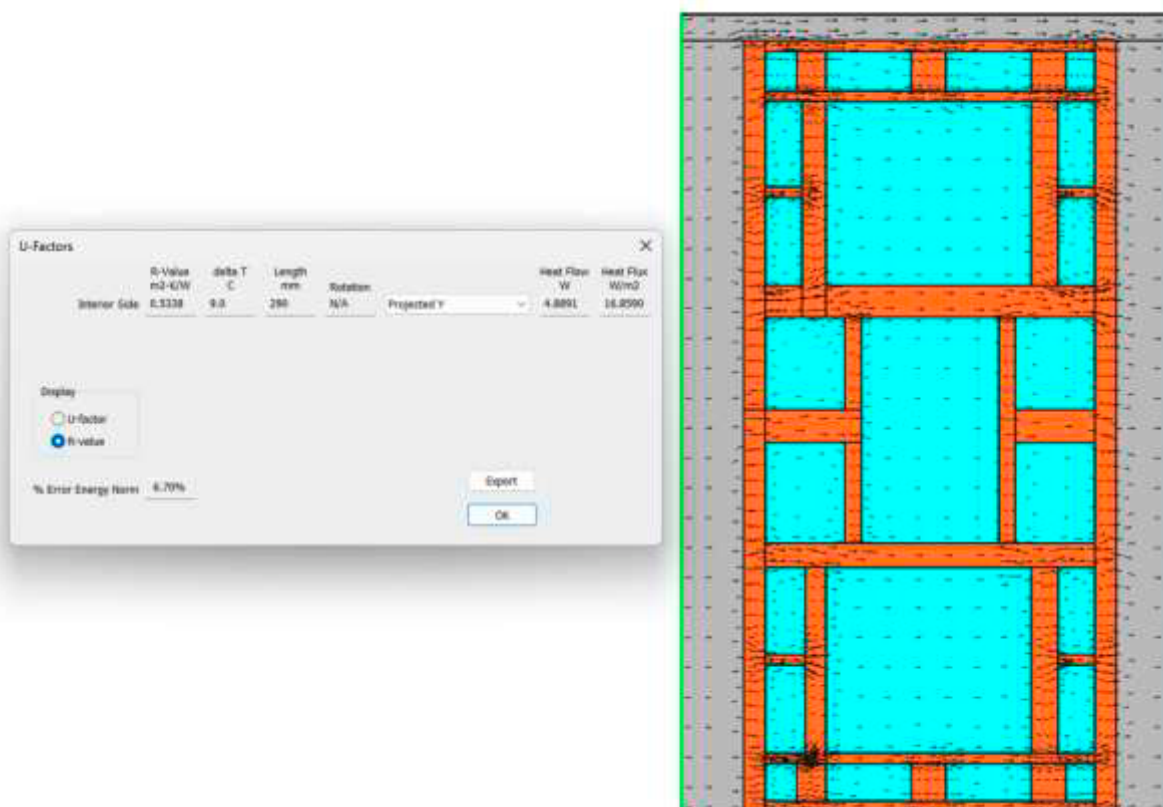
$$U_{R_{se}} = \frac{1}{R_{se}} = \frac{1}{0,04} = 25 \frac{W}{m^2 K}$$

$$R_{si} = 0,13 \frac{m^2 K}{W} \Rightarrow U = \frac{1}{R_{si}}$$

$$U_{R_{si}} = \frac{1}{R_{si}} = \frac{1}{0,13} = 7,69 \frac{W}{m^2 K}$$

A fim de garantir maior fidedignidade aos resultados obtidos, considerando as limitações do software Therm, que desconsidera a contribuição da lateral do bloco cerâmico, após a análise do software Therm (figura 16), foi necessário realizar o cálculo complementar da resistência térmica correspondente a essa porção.

Figura 16: Cálculo da Resistência total do bloco pelo Therm.



Fonte: Autoria própria (2025).

Para tanto, determinou-se a resistência térmica total da lateral horizontal (conforme a equação abaixo) e somou-se ao valor obtido por meio do Therm, conforme estabelecido na equação utilizada para a correção dos resultados.

$$R_A = R_{ss} + \frac{e_{emb,ext} + e_{cerâmica} + e_{emb,int}}{\lambda_{argamassa}} + R_{si}$$

A partir do resultado obtido pela equação, calculou-se a porcentagem da geometria do bloco cerâmico que foi desconsiderada pelo software.

$$F_H = \frac{A_{Horizontal}}{A_{total,bloco}}$$

$$F_H = \frac{(0,3 * 0,01)}{(0,3 * 0,2)} = 5,0\%$$

Em seguida, ao somar-se as porcentagens relativas de cada porção do bloco, ponderadas por suas respectivas resistências térmicas, obteve-se a resistência térmica total do conjunto.

$$R_{Digital} = \left(\frac{F_H}{R_{se} + \frac{A_{cer}}{\lambda_{cer}} + R_{si}} + \frac{F_{Bloco Therm}}{R_{THERM}} \right)^{-1}$$

$$R_{Digital} = \left(\frac{0,05}{0,04 + \frac{0,185}{1} + 0,13} + \frac{0,95}{0,5338} \right)^{-1}$$

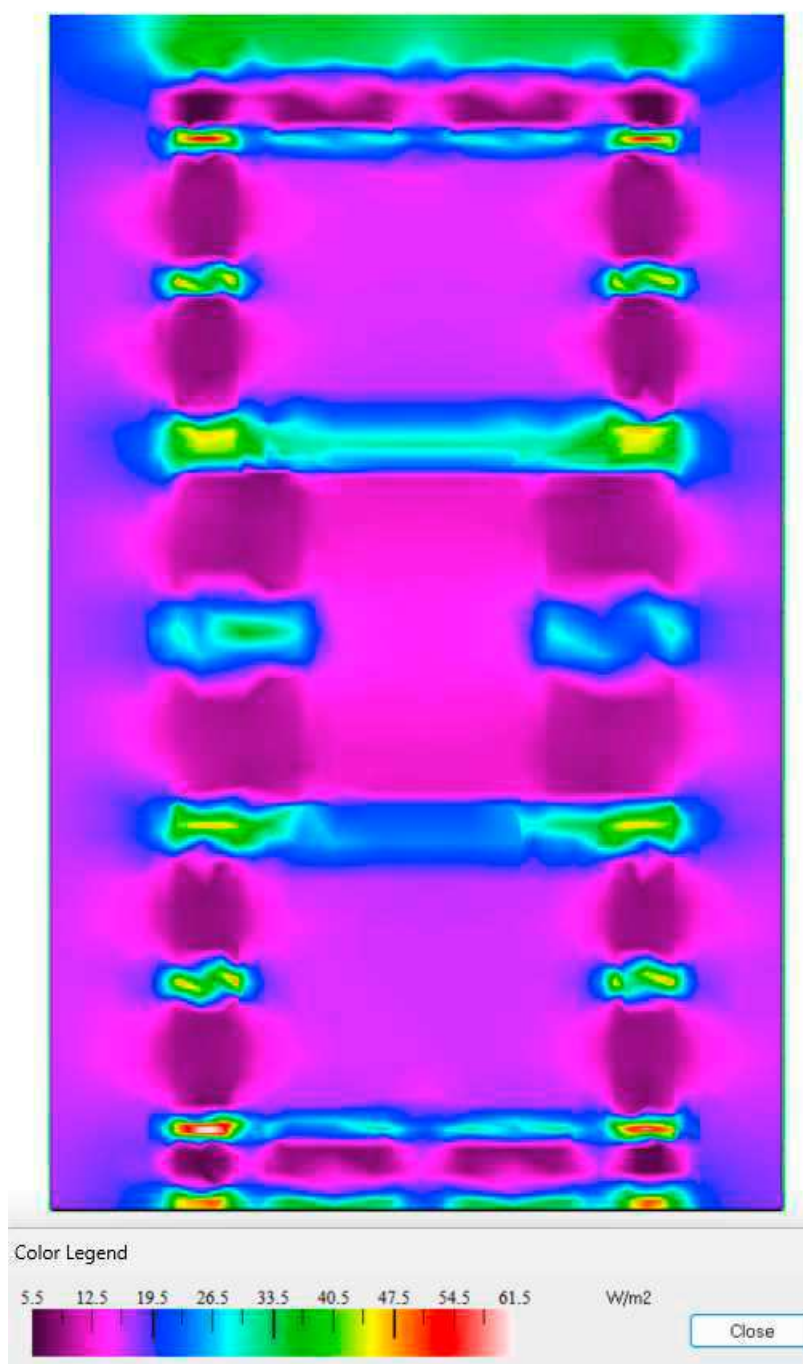
Sendo $R_{Digital}$, o valor referente a resistência térmica total calculada pelo método digital.

$$R_{Digital} = 0,5207 \frac{W}{m^2 K}$$

E quando comparado a resistência calculada pelo método analítico, obtém-se um erro de 4,054%.

Pelo software Therm é possível visualizar o fluxo de calor (figura 18) incidente no bloco, por uma régua de coloração gradual, é possível observar que conforme a espessura do vazio no bloco, mais amena é a propagação térmica.

Figura 17: Fluxo de calor.



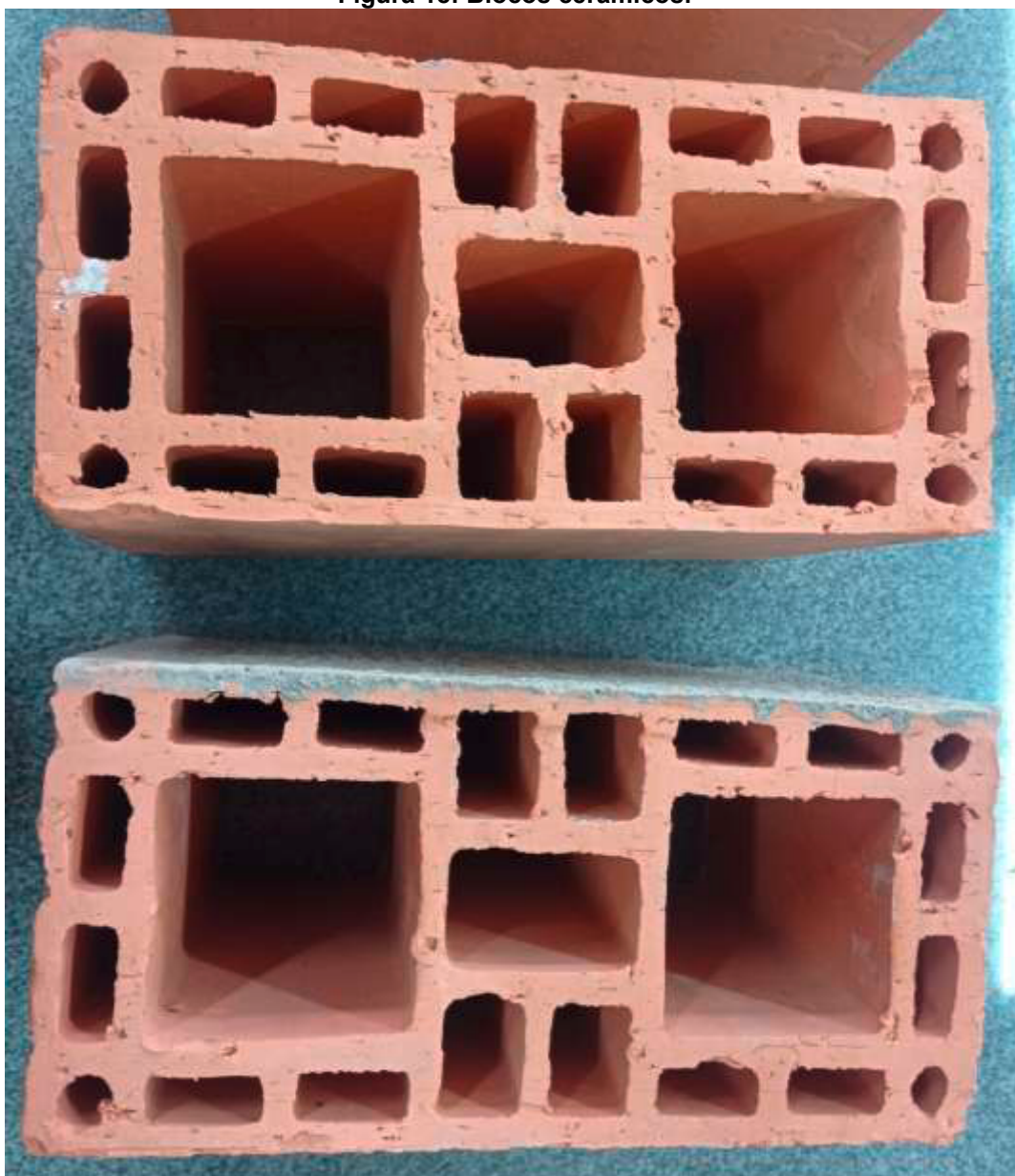
Fonte: Autoria própria (2025).

4 RESULTADOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA FACHADA

A fachada em análise foi executada por meio do sistema de alvenaria racionalizada, utilizando blocos cerâmicos vazados de dimensões 14x19x29 cm (figura 19), com aberturas dispostas da orientação vertical. Os blocos são assentados longitudinalmente, posicionados lado a lado ao longo de seu maior comprimento (Ferreira, 2021).

Figura 18: Blocos cerâmicos.



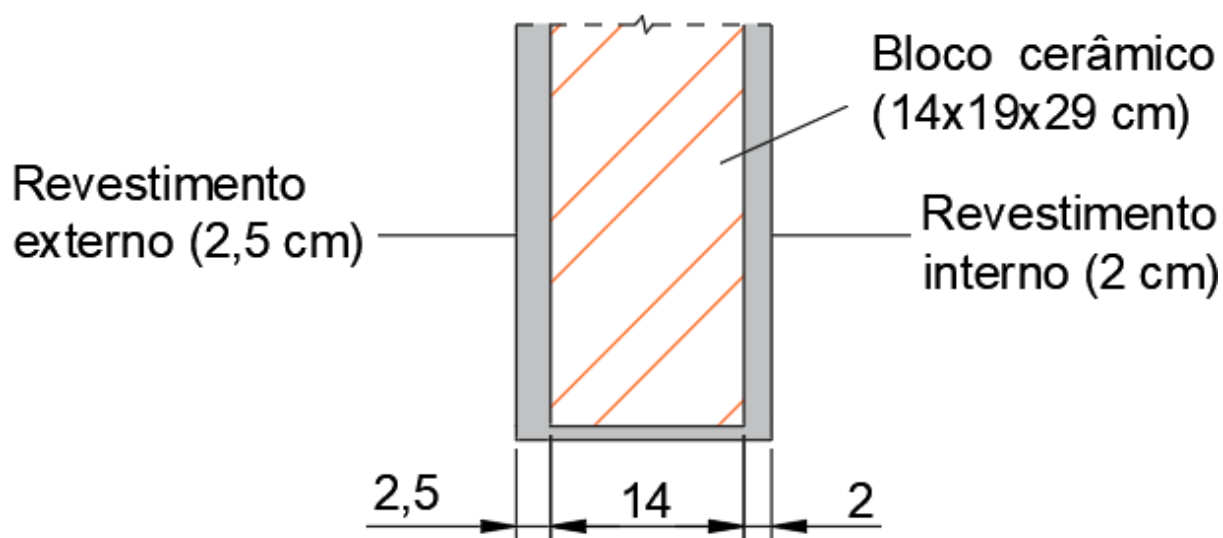
Fonte: Fonte: Autoria própria (2025).

Por se tratar de empreendimentos padronizados, ou seja, métodos construtivos similares, admite-se o mesmo projeto de revestimento de fachada que dos demais empreendimentos da mesma construtora (Anexo A).

O revestimento externo da fachada seguiu a aplicação de uma camada de chapisco batido sobre a alvenaria, com traço 1:3 (cimento: areia), em consistência plástica e espessura aproximada de 0,5 cm. Nos elementos estruturais, adotou-se o uso de chapisco industrializado, aplicado com desempenadeira dentada, igualmente com espessura média de 0,5 cm (Ferreira, 2021).

Conforme Ferreira, para a execução do emboço externo, foi empregada argamassa estabilizada composta por cimento, areia, água e aditivo plastificante, com espessura mínima de 2,5 cm. No revestimento interno, utilizou-se a mesma composição de argamassa; entretanto, a espessura média aplicada foi de 2 cm (figura 20).

Figura 19: Corte lateral do sistema construtivo da fachada analisada.



Fonte: Autoria própria (2025).

Ao realizar a comparação entre os resultados obtidos e aos valores de referência da NBR 15575 – 4 (2021), foi possível constatar que os valores obtidos por meio deste estudo estão dentro da confiabilidade da norma de desempenho (quadro 1).

Quadro 1: Comparação aos resultados analíticos a NBR 15575-4 (2021).

Parâmetro	Valor calculado	Valores de referência da NBR 15575-4 (2021)
Resistência térmica do limite superior – $R_{\text{tot,upper}}$ W/(m ² K)	0,5869	
Resistência térmica do limite inferior – $R_{\text{tot,lower}}$ W/(m ² K)	0,4985	
Resistência térmica total – R_{tot} W/(m ² K)	0,5427	
Transmitância térmica - U_{tot} (m ² K)/W	1,8426	≤2,70
Capacidade Térmica - CT_{par} kJ/(m ² K)	291,1796	≥130

Fonte: Autoria própria (2025).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos por meio da análise analítica, verificou-se que o desempenho térmico atendeu aos requisitos estabelecidos pela norma NBR, apresentando uma diferença entre os limites de resistência inferior a $1,5 \text{ k}\cdot\text{m}^3/\text{W}$. Assim, após a verificação da condição de aceitação prevista na norma, conclui-se que o sistema avaliado está em conformidade, não sendo, portanto, necessário propor intervenções ou melhorias na fachada.

A variação de erro entre os métodos foi inferior a 4,1 %, que significa que os modelos analítico e de elementos finitos são próximos e que os cálculos condizem com o desempenho térmico real do bloco.

Existem poucos trabalhos sobre o tema de desempenho térmico no Brasil devido à recente modificação da normativa NBR 15220-2, e este trabalho teve por objetivo apresentar uma metodologia detalhada de cálculo para blocos cerâmicos em fachadas de vedação, um dos sistemas construtivos mais utilizados no Brasil.

REFERÊNCIAS

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2022.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 15575**: Edificações habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro, 2024.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Projeto **02:135.07-001/2** – 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, 2003.

AYOADE, J.O.. **Introdução a Climatologia para os Trópicos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Curitiba, PR: Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IAPAR, 2019. Assunto: Atlas Climático do Estado do Paraná.

BRASIL. Ministério do Planejamento e Orçamento. Curitiba, PR: Secretaria do Planejamento, Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IRP, 2010. Assunto: IPARDES - Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social.

COSTA, C.. **Dinâmica climática na área urbana de Guarapuava – PR no período de dezembro/2015 à novembro/2016**. 2017. 110 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, 2017.

EMBRAPA. **Clima**, 2016. Disponível em: <https://www.cnpf.embrapa.br/pesquisa/efb/clima.htm>. Acesso em: 20 nov. 2024.

FERREIRA, B.M.. **Análise do desempenho acústico da fachada de uma habitação do Programa Casa Verde e Amarela**: Estudo de caso na cidade de Guarapuava-PR. 2021. 87 f. Projeto de Pesquisa – (Bacharelado em Engenharia Civil - Universidade Tecnológica Federal do Paraná) Guarapuava, 2021.

GERALDI, M. S.; Longen, J.; Nunes, V.S.. Cálculo da transmitância térmica de componentes construtivos usuais segundo a NBR 15220-2:2022. **CB3E**- Centro

Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações. Florianópolis (SC), n. 17. Out. 2022.

GIONDO, J.S. .**Concreto armado**: Projeto estrutural de edifícios. São Paulo: Edusp, 2007.

IPCC, 2023: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-34, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001

JARDIM, C. H. Relações entre temperatura, umidade relativa do ar e pressão atmosférica em área urbana: comparação horária entre dois bairros no município de São Paulo – SP. Departamento de Geografia IGC, UFMG. **Geografias**, Belo Horizonte (MG), n. 15, dez. 2011.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R.. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3. ed. Rio de Janeiro: ELETROBRAS/PROCEL, 2014.

MAGALHÃES, P. H. S. **Reabilitação de edifício residencial na cidade de Ouro Preto buscando adequação do conforto térmico**. 2018. 52 f. Dissertação (Curso de especialização em Produção e Gestão do Ambiente Construído) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

MAIA, S. S. **Análise de desempenho térmico por meio de simulação computacional**: estudos de caso em uma habitação de interesse social e uma habitação de alto padrão. 2021. 84 f. Monografia (Curso de Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Guarapuava, 2021.

NUIC L. **Aplicabilidade do Bambu em Zona Bioclimática 1 como Alternativa Construtiva**: Proposição de Painel, Sistema Construtivo Modular e Simulação do Desempenho Térmico. 2024. 248 f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2024.

PINHEIRO, Libânio M.. **Fundamentos do Concreto e Projeto de Edifícios**: Estruturas de Concreto. São Paulo: Edusp, 2004.

THOMAZ, Edivaldo Lopes; VESTENA, Leandro Rendi. **Aspectos Climáticos de Guarapuava**. Guarapuava: Unicentro, 2003.

VEIGA, C. Z. M. **Análise do Desempenho Térmico de uma Residência Unifamiliar Meio de Simulação Computacional**. 2023. 92 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2023.

WESTPHAL, Fernando Simon. Simulação da ventilação natural com o Energyplus: incertezas nos dados climáticos. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2020

APÊNDICE A - Cálculo analítico.

Propriedades dos materiais

$$\begin{aligned}\rho_{cer} &:= 1600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} & \rho_{arg} &:= 1800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} & R_{se} &:= 0,04 \frac{\text{m}^2 \text{K}}{\text{W}} \\ \lambda_{cer} &:= 0,90 \frac{\text{W}}{\text{m K}} & \lambda_{arg} &:= 1,00 \frac{\text{W}}{\text{m K}} & R_{si} &:= 0,13 \frac{\text{m}^2 \text{K}}{\text{W}} \\ c_{cer} &:= 920 \frac{\text{J}}{\text{kg K}} & c_{arg} &:= 1000 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}\end{aligned}$$

Dados

$$e_{emb,ext} := 2,50 \text{ cm}$$

$$e_{emb,int} := 2,00 \text{ cm}$$

1) Cálculo da área que recebe calor

$$A_{tot} := 30 \text{ cm} \cdot 20 \text{ cm} = 0,06 \text{ m}^2$$

2) Cálculo da área das seções em que o bloco foi dividido, e suas respectivas porcentagens da área total

$$A_{A1} := 30 \text{ cm} \cdot 1 \text{ cm} = 0,003 \text{ m}^2 \quad f_{A1} := \frac{A_{A1}}{A_{tot}} = 0,05$$

$$A_{A2} := 1 \text{ cm} \cdot 19 \text{ cm} = 0,0019 \text{ m}^2 \quad f_{A2} := \frac{A_{A2}}{A_{tot}} = 0,0317$$

$$A_{A3} := 0,41 \text{ cm} \cdot 19 \text{ cm} = 0,0008 \text{ m}^2 \quad f_{A3} := \frac{A_{A3}}{A_{tot}} = 0,013$$

$$A_{A4} := 1,436 \text{ cm} \cdot 19 \text{ cm} = 0,0027 \text{ m}^2 \quad f_{A4} := \frac{A_{A4}}{A_{tot}} = 0,0455$$

$$A_{A5} := 0,40 \text{ cm} \cdot 19 \text{ cm} = 0,0008 \text{ m}^2 \quad f_{A5} := \frac{A_{A5}}{A_{tot}} = 0,0127$$

$$A_{A6} := 3,27 \text{ cm} \cdot 19 \text{ cm} = 0,0062 \text{ m}^2 \quad f_{A6} := \frac{A_{A6}}{A_{tot}} = 0,1036$$

$$A_{A7} := 0,40 \text{ cm} \cdot 19 \text{ cm} = 0,0008 \text{ m}^2 \quad f_{A7} := \frac{A_{A7}}{A_{tot}} = 0,0127$$

$$A_{A8} := 3,27 \text{ cm} \cdot 19 \text{ cm} = 0,0062 \text{ m}^2 \quad f_{A8} := \frac{A_{A8}}{A_{tot}} = 0,1036$$

$$A_{A9} := 1,184 \text{ cm} \cdot 19 \text{ cm} = 0,0022 \text{ m}^2 \quad f_{A9} := \frac{A_{A9}}{A_{tot}} = 0,0375$$

$$A_{A10} := 3,526 \text{ cm} \cdot 19 \text{ cm} = 0,0067 \text{ m}^2 \quad f_{A10} := \frac{A_{A10}}{A_{tot}} = 0,1117$$

$$A_{A11} := 1,208 \text{ cm} \cdot 19 \text{ cm} = 0,0023 \text{ m}^2 \quad f_{A11} := \frac{A_{A11}}{A_{tot}} = 0,0383$$

$$A_{lateral} := 20 \text{ cm} \cdot 1 \text{ cm} = 0,002 \text{ m}^2$$

$$f_{lateral} := \frac{A_{lateral}}{A_{tot}} = 0,0333$$

3) Cálculo de conferimento das porcentagens das áreas das seções do bloco

$$f_{A1} + f_{A2} + 2 \cdot (f_{A3} + f_{A4} + f_{A5} + f_{A6} + f_{A7} + f_{A8} + f_{A9} + f_{A10}) + f_{A11} = 1$$

4) Cálculo do Limite superior da resistência térmica

$$R_{A1} := R_{se} + \frac{(e_{emb,ext} + 14 \text{ cm} + e_{emb,int})}{\lambda_{arg}} + R_{si} = 0,355 \frac{\text{K s}}{\text{kg}}^3$$

$$R_{A2} := R_{A1} = 0,355 \frac{\text{K s}}{\text{kg}}^3$$

$$R_{A3} := R_{se} + \frac{e_{emb,ext}}{\lambda_{arg}} + \frac{14 \text{ cm}}{\lambda_{cer}} + \frac{e_{emb,int}}{\lambda_{arg}} + R_{si} = 0,3706 \frac{\text{K s}}{\text{kg}}^3$$

$$R_{A4} := R_{se} + \frac{e_{emb,ext}}{\lambda_{arg}} + 2 \cdot \left(\frac{0,823 \text{ cm}}{\lambda_{cer}} + 0,1426 \text{ m}^2 \frac{\text{K}}{\text{W}} + 0,16 \text{ m}^2 \frac{\text{K}}{\text{W}} \right) + \frac{1,2573 \text{ cm}}{\lambda_{cer}} + \frac{1,0837 \text{ cm}}{\lambda_{cer}} + \frac{1,219 \text{ cm}}{\lambda_{cer}} + \frac{e_{emb,int}}{\lambda_{arg}} + R_{si} = 0,878 \frac{\text{K s}}{\text{kg}}^3$$

$$R_{A5} := R_{A3} = 0,3706 \frac{\text{K s}}{\text{kg}}^3$$

$$R_{A6} := R_{se} + \frac{e_{emb,ext}}{\lambda_{arg}} + 2 \cdot \left(\frac{0,823 \text{ cm}}{\lambda_{cer}} + 0,1487 \text{ m}^2 \frac{\text{K}}{\text{W}} \right) + \frac{0,7747 \text{ cm}}{\lambda_{cer}} + 0,16 \text{ m}^2 \frac{\text{K}}{\text{W}} + \frac{0,91 \text{ cm}}{\lambda_{cer}} + \frac{e_{emb,int}}{\lambda_{arg}} + R_{si} = 0,7094 \frac{\text{K s}}{\text{kg}}^3$$

$$R_{A7} := R_{se} + \frac{e_{emb,ext}}{\lambda_{arg}} + \frac{3,0337 \text{ cm}}{\lambda_{cer}} + 0,16 \text{ m}^2 \frac{\text{K}}{\text{W}} + \frac{3,169 \text{ cm}}{\lambda_{cer}} + \frac{e_{emb,int}}{\lambda_{arg}} + R_{si} = 0,4439 \frac{\text{K s}}{\text{kg}}^3$$

$$R_{A8} := R_{A6} = 0,7094 \frac{\text{K s}}{\text{kg}}^3$$

$$R_{A9} := R_{A5} = 0,3706 \frac{\text{K s}}{\text{kg}}^3$$

$$R_{A10} := R_{se} + \frac{e_{emb,ext}}{\lambda_{arg}} + 2 \cdot \left(\frac{0,823 \text{ cm}}{\lambda_{cer}} + 0,16 \text{ m}^2 \frac{\text{K}}{\text{W}} + \frac{0,597 \text{ cm}}{\lambda_{cer}} \right) + 0,16 \text{ m}^2 \frac{\text{K}}{\text{W}} + \frac{e_{emb,int}}{\lambda_{arg}} + R_{si} = 0,7266 \frac{\text{K s}}{\text{kg}}^3$$

$$R_{A11} := R_{se} + \frac{e_{emb,ext}}{\lambda_{arg}} + 2 \cdot \left(\frac{4,37 \text{ cm}}{\lambda_{cer}} \right) + 0,16 \text{ m}^2 \frac{\text{K}}{\text{W}} + \frac{e_{emb,int}}{\lambda_{arg}} + R_{si} = 0,4721 \frac{\text{K s}}{\text{kg}}^3$$

$$R_{tot,upper} := \left(\frac{f_{A1}}{R_{A1}} + \frac{f_{A2}}{R_{A2}} + 2 \cdot \left(\frac{f_{A3}}{R_{A3}} + \frac{f_{A4}}{R_{A4}} + \frac{f_{A5}}{R_{A5}} + \frac{f_{A6}}{R_{A6}} + \frac{f_{A7}}{R_{A7}} + \frac{f_{A8}}{R_{A8}} + \frac{f_{A9}}{R_{A9}} + \frac{f_{A10}}{R_{A10}} \right) + \frac{f_{A11}}{R_{A11}} \right)^{-1} = 0,5869 \frac{\text{K s}}{\text{kg}}^3$$

5) Cálculo do Limite inferior da resistência térmica

$$R_{B1} := \frac{14 \text{ cm}}{\lambda_{arg}} = 0,14 \frac{\text{K s}}{\text{kg}}^3$$

$$R_{B2} := \frac{14 \text{ cm}}{\lambda_{cer}} = 0,1556 \frac{\text{K s}}{\text{kg}}^3$$

$$R_{B3} := 2 \cdot \left(\frac{0,823 \text{ cm}}{\lambda_{cer}} + 0,1426 \text{ m}^2 \frac{\text{K}}{\text{W}} + 0,16 \text{ m}^2 \frac{\text{K}}{\text{W}} \right) + \frac{1,2573 \text{ cm}}{\lambda_{cer}} + \frac{1,0837 \text{ cm}}{\lambda_{cer}} + \frac{1,219 \text{ cm}}{\lambda_{cer}} = 0,663 \frac{\text{K s}}{\text{kg}}^3$$

$$R_{B5} := 2 \cdot \left(\frac{0,823 \text{ cm}}{\lambda_{cer}} + 0,1487 \text{ m}^2 \frac{\text{K}}{\text{W}} \right) + \frac{0,7747 \text{ cm}}{\lambda_{cer}} + 0,16 \text{ m}^2 \frac{\text{K}}{\text{W}} + \frac{0,91 \text{ cm}}{\lambda_{cer}} = 0,4944 \frac{\text{K s}}{\text{kg}}^3$$

$$R_{B6} := \frac{3,0337 \text{ cm}}{\lambda_{cer}} + 0,16 \text{ m}^2 \frac{\text{K}}{\text{W}} + \frac{3,169 \text{ cm}}{\lambda_{cer}} = 0,2289 \frac{\text{K s}}{\text{kg}}^3$$

$$R_{B9} := 2 \cdot \left(\frac{0,823 \text{ cm}}{\lambda_{cer}} + 0,16 \text{ m}^2 \frac{\text{K}}{\text{W}} + \frac{0,597 \text{ cm}}{\lambda_{cer}} \right) + 0,16 \text{ m}^2 \frac{\text{K}}{\text{W}} = 0,5116 \frac{\text{K s}}{\text{kg}}^3$$

$$R_{B10} := 2 \cdot \left(\frac{4,37 \text{ cm}}{\lambda_{cer}} \right) + 0,16 \text{ m}^2 \frac{\text{K}}{\text{W}} = 0,2571 \frac{\text{K s}}{\text{kg}}^3$$

$$R_{AV} := \frac{14 \text{ cm}}{\lambda_{arg}} = 0,14 \frac{\text{K s}}{\text{kg}}^3$$

$$f_{AV} := \frac{0,01 \text{ m} \cdot 0,19 \text{ m}}{0,3 \text{ m} \cdot 0,2 \text{ m}} = 0,0317 \quad \text{Argamassa Vertical}$$

$$R_{AH} := \frac{14 \text{ cm}}{\lambda_{arg}} = 0,14 \frac{\text{K s}}{\text{kg}}^3$$

$$f_{AH} := \frac{0,01 \text{ m} \cdot 0,3 \text{ m}}{0,3 \text{ m} \cdot 0,2 \text{ m}} = 0,05 \quad \text{Argamassa Horizontal}$$

$$R_{Bloco} := \left(\frac{f_{A1}}{R_{B1}} + 6 \cdot \frac{f_{A2}}{R_{B2}} + 4 \cdot \frac{f_{A5}}{R_{B5}} + 2 \cdot \left(\frac{f_{A3}}{R_{B3}} + \frac{f_{A9}}{R_{B9}} + \frac{f_{A6}}{R_{B6}} \right) + \frac{f_{A10}}{R_{B10}} \right)^{-1} = 0,3119 \frac{\text{K s}}{\text{kg}}^3$$

$$f_{Bloco} := \frac{0,29 \text{ m} \cdot 0,19 \text{ m}}{0,3 \text{ m} \cdot 0,2 \text{ m}} = 0,9183$$

$$R_{tot,lower} := R_{se} + \frac{e_{emb,ext}}{\lambda_{arg}} + \frac{1}{\frac{f_{Bloco}}{R_{Bloco}} + \frac{f_{AH}}{R_{AH}} + \frac{f_{AV}}{R_{AV}}} + \frac{e_{emb,int}}{\lambda_{arg}} + R_{si} = 0,4985 \frac{\text{K s}}{\text{kg}}^3$$

6) Cálculo da Resistência Térmica Total

$$R_{total} := \frac{R_{tot,upper} + R_{tot,lower}}{2} = 0,5427 \frac{\text{K s}}{\text{kg}}^3$$

$$U_{total} := \frac{1}{R_{total}} = 1,8426 \frac{\text{kg}}{\text{K s}}^3$$

7) Verificação de condição de aceitação da norma

caso a condição for acima de 0,2, o bloco possui pontes térmicas, que por sua vez não poderá ser modelado de acordo com a NBR 15220 - 2 (2022).

$$e_R := \frac{(R_{tot,upper} - R_{tot,lower})}{2 \cdot R_{total}} = 0,0815$$

8) Cálculo da capacidade térmica (por camadas)

$$C := \sum_{j=1}^n (\lambda_{material} \cdot R_j \cdot c_j \cdot \rho_j)$$

$$C_{A1} := \lambda_{arg} \cdot R_{A1} \cdot c_{arg} \cdot \rho_{arg} = 6,39 \cdot 10^5 \frac{\text{m Pa}}{\text{K}}$$

$$C_{A2} := 18,5 \text{ cm} \cdot \frac{c_{arg}}{1000} \cdot \rho_{arg} = 333 \frac{\text{m Pa}}{\text{K}}$$

$$C_{A3} := (e_{emb,ext} + e_{emb,int}) \cdot \frac{c_{arg}}{1000} \cdot \rho_{arg} + 14 \text{ cm} \cdot \rho_{cer} \cdot \frac{c_{cer}}{1000} = 287,08 \frac{\text{m Pa}}{\text{K}}$$

$$C_{A4} := (e_{emb,ext} + e_{emb,int}) \cdot \frac{c_{arg}}{1000} \cdot \rho_{arg} + 5,206 \text{ cm} \cdot \rho_{cer} \cdot \frac{c_{cer}}{1000} = 157,6323 \frac{\text{m Pa}}{\text{K}}$$

$$C_{A6} := (e_{emb,ext} + e_{emb,int}) \cdot \frac{c_{arg}}{1000} \cdot \rho_{arg} + 3,3307 \text{ cm} \cdot \rho_{cer} \cdot \frac{c_{cer}}{1000} = 130,0279 \frac{\text{m Pa}}{\text{K}}$$

$$C_{A7} := (e_{emb,ext} + e_{emb,int}) \cdot \frac{c_{arg}}{1000} \cdot \rho_{arg} + 6,2027 \text{ cm} \cdot \rho_{cer} \cdot \frac{c_{cer}}{1000} = 172,3037 \frac{\text{m Pa}}{\text{K}}$$

$$C_{A8} := C_{A6} = 130,0279 \frac{\text{m Pa}}{\text{K}}$$

$$C_{A9} := C_{A3} = 287,08 \frac{\text{m Pa}}{\text{K}}$$

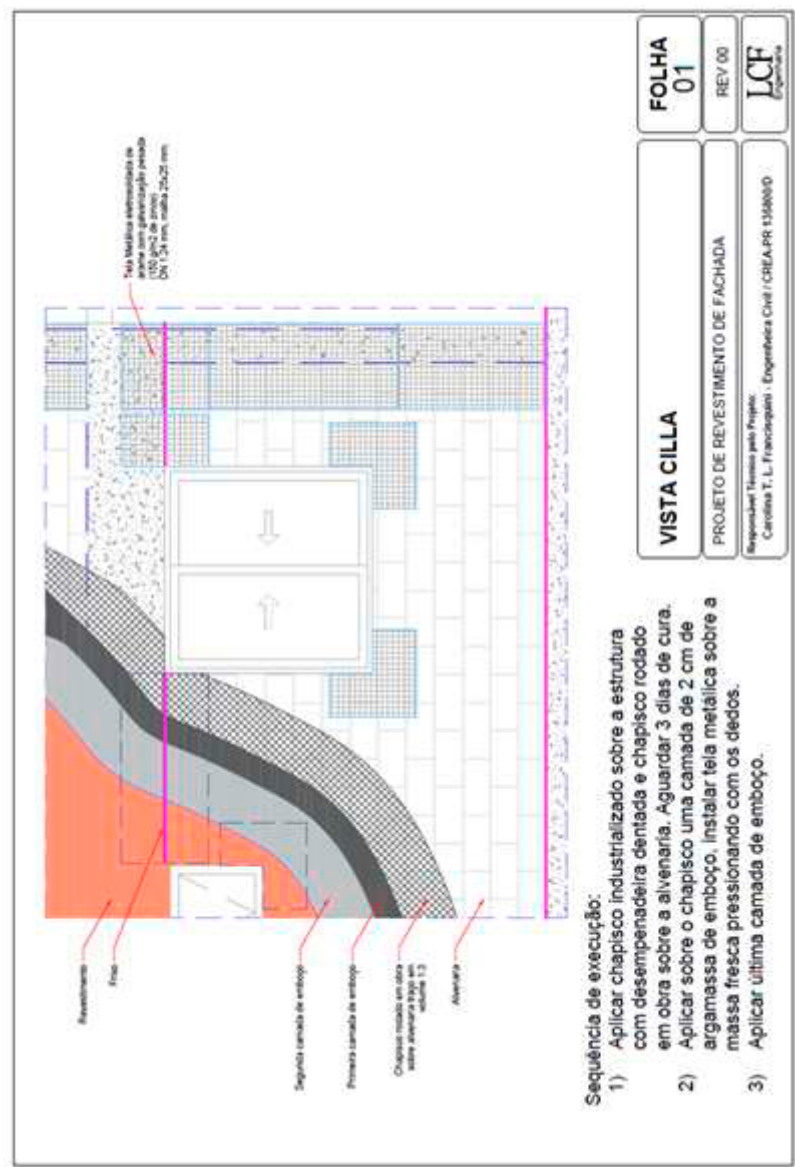
$$C_{A10} := (e_{emb,ext} + e_{emb,int}) \cdot \frac{c_{arg}}{1000} \cdot \rho_{arg} + 2,84 \text{ cm} \cdot \rho_{cer} \cdot \frac{c_{cer}}{1000} = 122,8048 \frac{\text{m Pa}}{\text{K}}$$

$$C_{A11} := (e_{emb,ext} + e_{emb,int}) \cdot \frac{c_{arg}}{1000} \cdot \rho_{arg} + 8,74 \text{ cm} \cdot \rho_{cer} \cdot \frac{c_{cer}}{1000} = 209,6528 \frac{\text{m Pa}}{\text{K}}$$

$$C_T := \frac{A_{tot}}{\frac{A_{A2}}{C_{A2}} + 5 \cdot \left(\frac{A_{A3}}{C_{A3}} \right) + 2 \cdot \left(\frac{A_{A4}}{C_{A4}} + \frac{A_{A7}}{C_{A7}} \right) + 3 \cdot \left(\frac{A_{A6}}{C_{A6}} \right)} = 291,1796 \frac{\text{m Pa}}{\text{K}}$$

ANEXO A - Projeto de revestimento similar a fachada analisada.

Figura 20: Projeto de revestimento similar a fachada analisada.



Fonte: Vista Cilla Empreendimentos (2021).