



2025

Desempenho Térmico e Custo de Adequação de Sistemas Construtivos Segundo o Método Simplificado da ABNT nas Zonas Bioclimáticas Brasileiras

Lucas Viana Garcia ^a; Valéria Ramos Baltazar Quevedo ^b

^a Aluno de Graduação em Engenharia Civil, lucas.viana@ufms.br

^b Professor Orientador, Doutor em Engenharia Civil, valeria.baltazar@ufms.br

Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Av. Costa e Silva, s/nº | Bairro Universitário | 79070-900 | Campo Grande, MS, Brasil.

RESUMO

O desempenho térmico de uma edificação está relacionado à sua capacidade de manter condições internas de conforto, minimizando a influência das variações climáticas externas e reduzindo a necessidade de climatização artificial. Considerando a diversidade climática do Brasil e a importância de soluções eficientes em habitações de interesse social (HIS), este trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho térmico e o custo de adequação de três sistemas construtivos, alvenaria convencional, alvenaria estrutural e *Insulated Concrete Forms* (ICF), com base no método simplificado da ABNT NBR 15575:2021, em correlação com as doze zonas bioclimáticas da ABNT NBR 15220:2024. Foram calculados os valores de transmitância térmica e capacidade térmica das paredes externas, bem como analisados os custos de execução e das adaptações necessárias segundo a base de dados SINAPI. Os resultados mostraram que o sistema ICF apresentou o menor coeficiente de transmitância térmica, demonstrando maior isolamento, porém com menor capacidade térmica. A alvenaria estrutural obteve o melhor equilíbrio entre isolamento e inércia térmica, atendendo à maioria dos critérios normativos. Observou-se, contudo que sem alterações nos sistemas construtivos, a maior parte das soluções não atendeu aos requisitos de desempenho térmico estabelecidos, sendo necessária intervenções para adequação. As estratégias de adequação, como o aumento das espessuras de revestimentos e escolha de cores claras para pintura externa, mostraram-se eficientes e economicamente viáveis, com acréscimo médio de 11% no custo. Conclui-se que pequenas intervenções podem melhorar significativamente o desempenho térmico, promovendo edificações mais eficientes, sustentáveis e adaptadas às diferentes zonas bioclimáticas brasileiras.

Palavras-chave: desempenho térmico; sistema ICF; alvenaria estrutural; habitação de interesse social; eficiência energética

ABSTRACT

The thermal performance of a building is related to its ability to maintain indoor comfort conditions by minimizing the influence of external climatic variations and reducing the need for artificial conditioning. Considering Brazil's climatic diversity and the importance of efficient solutions for social housing (HIS), this study aims to evaluate the thermal performance and the cost of adapting three construction systems, conventional masonry, structural masonry, and Insulated Concrete Forms (ICF), based on the simplified method of ABNT NBR 15575:2021, in correlation with the twelve bioclimatic zones of ABNT NBR 15220:2024. Thermal transmittance and thermal capacity values of the external walls were calculated, as well as the execution costs and the costs of the necessary adaptations according to the SINAPI database. The results showed that the ICF system presented the lowest thermal transmittance coefficient, demonstrating greater insulation, but lower thermal capacity. Structural masonry achieved the best balance between insulation and thermal inertia, meeting most normative criteria. However, it was observed that without modifications to the construction systems, most solutions did not meet the established thermal performance requirements, making interventions necessary for compliance. Adaptation strategies such as increasing coating thicknesses and choosing light colors for exterior painting proved efficient and economically viable, with an average cost increase of 11%. It is concluded that small interventions can significantly improve thermal performance, promoting more efficient, sustainable buildings adapted to the different Brazilian bioclimatic zones.

Keywords: thermal performance; ICF system; structural masonry; social housing; energy efficiency.

1. INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com o conforto térmico e a eficiência energética nas edificações brasileiras têm impulsionado avanços significativos nas normas que regulamentam o desempenho térmico. A norma ABNT

NBR 15220-3:2024 – Desempenho térmico das edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social, que revisa a versão de 2005, atualizou o zoneamento bioclimático nacional, ampliando-o de oito para doze zonas climáticas e incorporando dados climáticos mais recentes e representativos. Essa atualização visa tornar os critérios de projeto mais condizentes com a diversidade térmica do território brasileiro.

Em paralelo, a ABNT NBR 15575:2021 – Edificações habitacionais – Desempenho, permanece como a principal referência de avaliação de desempenho de edificações habitacionais. Composta por seis partes, estabelece os critérios mínimos de desempenho para edificações habitacionais, incluindo requisitos de desempenho térmico.

No Brasil, a construção de habitações de interesse social (HIS) tem se consolidado como uma estratégia essencial para reduzir o déficit habitacional e garantir moradias dignas à população de baixa renda. Essas edificações, voltadas a famílias com renda mensal de até três salários mínimos, são produzidas em larga escala e frequentemente reproduzem projetos padronizados, priorizando custo e rapidez construtiva em detrimento do desempenho térmico e ambiental (Machado et al., 2020). No entanto, uma mesma solução construtiva pode apresentar desempenhos distintos diante da diversidade climática brasileira, nesse contexto, torna-se fundamental a adoção de estratégias de adequação que conciliam melhorias no conforto ambiental e na eficiência energética, sem comprometer a viabilidade econômica do empreendimento. Assim, o desenvolvimento e a análise de soluções construtivas adaptadas a cada zona bioclimática representam um caminho promissor para elevar o desempenho das HIS, promovendo edificações mais sustentáveis, confortáveis e acessíveis.

Este trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho térmico de uma habitação de interesse social por meio da comparação entre três sistemas construtivos, alvenaria convencional, alvenaria estrutural e Insulated Concrete Forms (ICF). A análise abrange as diferentes zonas bioclimáticas brasileiras e os critérios da NBR 15575, permitindo identificar o comportamento térmico de cada solução. Além disso, o estudo inclui a avaliação financeira das adequações propostas para atender aos requisitos normativos, possibilitando compreender o impacto econômico dessas intervenções.

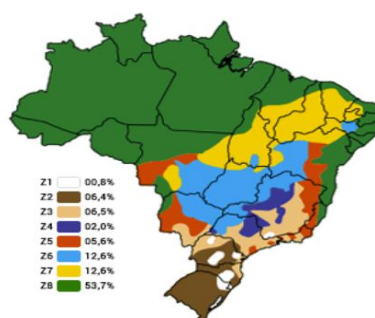
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Desempenho Térmico e Normas Brasileiras

O desempenho térmico de uma edificação está relacionado à sua capacidade de manter condições internas de conforto, reduzindo a influência das variações climáticas externas e a necessidade de climatização artificial. Essa performance depende de fatores como o isolamento das paredes, coberturas, pisos e esquadrias, bem como da ventilação natural e das características térmicas dos materiais empregados na envoltória (LabEEE, 2021; Lamberts; Pereira, Dutra, 2014).

No Brasil, o tema foi inicialmente normatizado pela ABNT NBR 15220:2005 - Desempenho Térmico de Edificações, que estabeleceu critérios de avaliação e dividiu o território nacional em oito zonas (Figura 1) bioclimáticas, considerando variáveis de temperatura e umidade. Essa classificação orientava o uso de materiais e estratégias construtivas específicas para cada zona, promovendo conforto térmico passivo, ou seja, sem depender de sistemas mecânicos de climatização (ABNT, 2005; LabEEE, 2021).

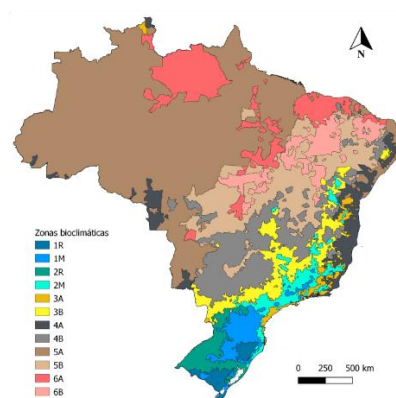
Figura 1 – Divisão do território brasileiro em zonas bioclimáticas.



Fonte: Adaptado ABNT NBR:15220:2005.

A revisão da norma ABNT NBR 15220:204 atualizou o zoneamento climático de oito para doze zonas, representando de forma mais precisa as variações climáticas regionais (Figura 2). Essa atualização incorporou novos dados meteorológicos e aprimorou os critérios de classificação, tornando a norma mais compatível com o cenário climático atual e com as exigências de conforto térmico das edificações (ABNT, 2024; Ferreira et al., 2024).

Figura 2 – Atual zoneamento bioclimático brasileiro.



Fonte: ABNT NBR:15220-2024.

A ABNT NBR 15575:2021 – Edificações Habitacionais: Desempenho ampliou o conceito de desempenho térmico, integrando-o a uma abordagem global das edificações que contempla aspectos acústicos, estruturais e de durabilidade. A norma estabelece níveis mínimo, intermediário e superior de desempenho e permite avaliação simplificada, computacional ou experimental, conforme o detalhamento exigido (ABNT, 2021). Diferentemente da NBR 15220, de caráter orientativo e climático, a NBR 15575 define parâmetros obrigatórios para edificações habitacionais, tornando-se referência para conformidade técnica, conforto térmico e eficiência energética no país (Lamberts; Pereira; Dutra, 2014).

Além dessas normas, a ABNT NBR ISO 10456:2023 fornece valores de referência para as propriedades térmicas de diversos materiais de construção, como condutividade térmica e resistência térmica, além de estabelecer métodos para a determinação e ajuste desses parâmetros conforme as condições ambientais. Essa norma serve de base para a correta aplicação dos cálculos de transmitância e resistência térmica nas avaliações de desempenho, garantindo coerência entre diferentes sistemas construtivos e condições climáticas (ABNT, 2023).

Por fim, as normas NBR 15220:2023 e NBR 15575:2021, associadas a programas nacionais como o PBE Edifica, representam instrumentos essenciais na busca por edificações mais eficientes e adaptadas à diversidade climática brasileira, favorecendo o uso de sistemas construtivos que conciliam desempenho térmico, sustentabilidade e viabilidade econômica (INMETRO; PROCEL, 2021). No entanto, observa-se um descompasso entre as normas: enquanto a NBR 15220:2023 atualiza o zoneamento climático para doze zonas, refletindo com maior precisão as condições regionais, a NBR 15575:2021 ainda se baseia nas oito zonas bioclimáticas anteriores, exigindo que estudos atuais de desempenho térmico realizem uma correlação entre ambos para garantir análises coerentes.

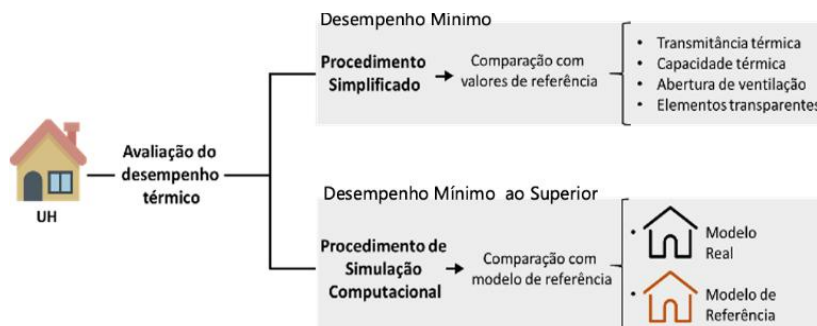
2.2. Métodos de Avaliação do Desempenho Térmico

O desempenho térmico das edificações pode ser avaliado por diferentes métodos, cada um com nível de detalhamento e complexidade distintos. De acordo com a NBR 15575:2021, destacam-se duas abordagens principais: o método simplificado e o método computacional.

O procedimento simplificado, descrito na ABNT NBR 15575-4:2021, permite avaliar o desempenho térmico mínimo de vedações verticais externas em unidades habitacionais, sendo obrigatório para os ambientes de permanência prolongada (APP), como quartos e salas, onde os ocupantes permanecem por mais tempo. Ambientes de permanência transitória (APT), como banheiros e áreas de serviço são desconsiderados por apresentar menor influência no conforto térmico global. Além disso, o procedimento também considera a influência das coberturas, que compõem a envoltória. (ABNT, 2021).

Para atender ao procedimento simplificado, os sistemas de vedação vertical externa devem cumprir critérios específicos estabelecidos pela norma, considerando as oito zonas bioclimáticas definidas pela ABNT NBR 15220:2005. Esses critérios incluem: transmitância térmica de paredes externas; capacidade térmica de paredes externas; percentual de abertura para ventilação e percentual de elementos transparentes, para os quais a norma apresenta os métodos de cálculo e os limites de referência. Além do método simplificado, a NBR 15575 também prevê os métodos computacional e experimental, que permitem análises mais detalhadas e precisas do desempenho térmico da edificação, conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 3– Avaliação do desempenho mínimo.



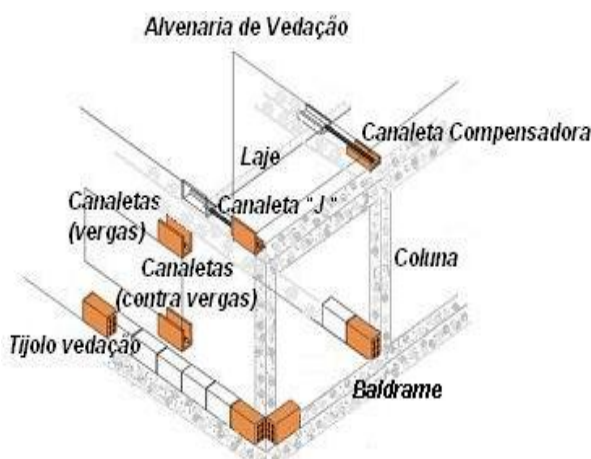
Fonte: LabEEE, UFSC (2025).

2.3. Sistemas Construtivos Tradicionais e Alternativos

O desempenho térmico de uma edificação está diretamente relacionado ao sistema construtivo adotado, pois diferentes materiais e configurações estruturais influenciam a capacidade de isolamento e a estabilidade térmica interna. Neste contexto, destacam-se sistemas tradicionais, como a alvenaria convencional e a alvenaria estrutural, e sistemas alternativos, como o *Insulated Concrete Forms* (ICF).

A alvenaria tradicional é o sistema mais difundido no Brasil, geralmente composta por blocos cerâmicos ou de concreto assentados com argamassa, cuja função principal é a vedação vertical, sem necessidade de sustentar a estrutura, como ilustrado na Figura 4. Apesar da facilidade de execução e da ampla disponibilidade de materiais, esse sistema apresenta limitações quanto ao isolamento térmico, o que pode aumentar a dependência de climatização e gerar desperdício de energia (Nagalli et al., 2019).

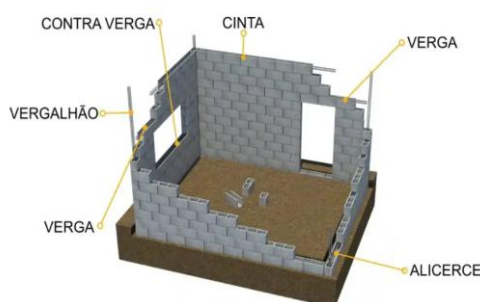
Figura 4– Componentes da alvenaria de vedação.



Fonte: Souza (2011).

No sistema de alvenaria estrutural, os blocos assumem função estrutural, reduzindo a necessidade de pilares e vigas internas, como ilustrado na Figura 5. Esse sistema apresenta grandes vantagens construtivas, como economia de materiais e rapidez de execução, ao eliminar algumas etapas construtivas. No entanto, o desempenho térmico ainda é limitado, sendo necessário o uso de camadas complementares de isolamento em regiões com condições climáticas mais extremas (Angulo; Ulsen, 2020).

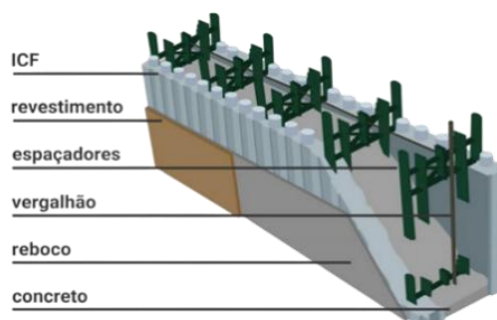
Figura 5 - Componentes alvenaria estrutural.



Fonte: Salema (2013).

O sistema *Insulated Concrete Forms* (ICF) é uma técnica construtiva em que formas de poliestireno expandido ou outro material isolante servem simultaneamente como molde para o concreto estrutural e como camada de isolamento térmico e acústico, formando paredes monolíticas. O ICF integra estrutura e isolamento térmico, proporcionando elevada eficiência energética, estabilidade térmica interna e bom desempenho acústico, como ilustrado na Figura 6. Além disso, oferece rapidez construtiva e resistência mecânica elevada, sendo adequado para regiões com diferentes exigências climáticas (Vanderwerf, 2018; iForms, 2023; ARXX, 2021).

Figura 6 – Componentes do sistema ICF.



Fonte: TECDream (2019).

A escolha do sistema construtivo influencia diretamente a viabilidade econômica e a eficiência energética das edificações, sendo essencial considerar o desempenho térmico aliado ao custo e à aplicabilidade regional (Vanderwerf, 2018).

2.4. Habitações de Interesse Social (HIS)

As Habitações de Interesse Social (HIS) são empreendimentos voltados a famílias de baixa renda, com foco em moradia digna, custos reduzidos e execução em larga escala. No Brasil, esses projetos seguem diretrizes governamentais que priorizam soluções construtivas, econômicas, rápidas e com materiais de fácil acesso (Souza; Lobo, 2023). Apesar disso, os conjuntos HIS frequentemente apresentam desafios significativos relacionados ao conforto térmico e à eficiência energética, principalmente por utilizarem predominantemente alvenaria tradicional, sem isolamento adequado e sem um estudo prévio (Mendes; Candido, 2019).

O planejamento das HIS deve enfatizar especialmente a fase de uso da edificação, priorizando estratégias que aumentem o conforto térmico e reduzam a demanda energética, como camadas isolantes adicionais. Essas medidas contribuem para a eficiência energética, maior durabilidade da edificação e atendimento aos requisitos das normativas (Azevedo et al., 2018).

2.5. Relação entre Propriedades e Estratégias de Adequação Térmica

A relação entre a transmitância térmica e a capacidade térmica é um dos principais fatores que determinam o desempenho térmico das edificações, pois ambas as propriedades influenciam diretamente o conforto térmico dos ambientes internos. A transmitância térmica (U) indica a facilidade com que o calor atravessa um elemento construtivo, enquanto a capacidade térmica (CT) está associada à inércia térmica do material, ou seja, à sua capacidade de armazenar e liberar calor ao longo do tempo (Martins, 2017). O equilíbrio

entre esses parâmetros é essencial para garantir que a edificação mantenha temperaturas internas mais estáveis, reduzindo a dependência de sistemas artificiais de climatização

Em análises realizadas com diferentes tipologias de blocos cerâmicos, observou-se que diversos sistemas atendem ao limite de transmitância térmica estabelecido pela ABNT NBR 15575-4:2021, mas não alcançam a capacidade térmica mínima necessária para garantir conforto térmico em regiões com grande amplitude térmica diária, como ilustra a Figura 7 (Akutsu et al., 2012). Essa limitação é ainda mais evidente em paredes leves, que, apesar de reduzirem o fluxo de calor, não conseguem retardar adequadamente as variações de temperatura ao longo do dia, comprometendo o desempenho térmico global das edificações (Akutsu et al., 2013).

Figura 7 – Análise de propriedades entre blocos cerâmicos.

BLOCO	IMAGEM BLOCO	CÓDIGO	DIMENSÕES (cm) L x H x C	RESISTÊNCIA TÉRMICA (R) $\left[\frac{m^2 \cdot K}{W}\right]$	TRANSMITÂNCIA TÉRMICA (U) $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$	CAPACIDADE TÉRMICA (C) $\left[\frac{kJ}{m^2 \cdot K}\right]$
Bloco 1		VED.040.2205	10,5 x 5 x 22,5	0,2867	3,4880	154,5600
Bloco 2		EST.100.1429	14 x 19 x 29	0,3674	2,7218	54,5800
Bloco 3		EST.040.1429	14 x 19 x 29	0,3543	2,8225	35,0800
Bloco 4		VED.015.1429	14 x 19 x 29	0,5728	1,7458	45,6400
Bloco 5		ESP.BRASIL.1439	14 x 19 x 39	0,5130	1,9493	165,03
Bloco 6		ESP.BRASIL.1939	19 x 19 x 39	0,6437	1,5535	178,1900

Fonte: Akutsu (2012).

Para melhorar o desempenho térmico das vedações verticais, podem ser aplicadas estratégias de adequação como o aumento da espessura das paredes, a utilização de materiais com maior massa específica, a aplicação de revestimentos externos com cores claras. Essas soluções aumentam a capacidade térmica dos elementos e reduzem o ganho de calor por radiação, contribuindo para a estabilidade térmica interna e para a eficiência energética das habitações, especialmente as de interesse social (Martins, 2017).

2.6. Composições de Custos e Base de Dados SINAPI

A análise de custos é uma etapa essencial para a avaliação comparativa de sistemas construtivos, pois permite identificar não apenas o desempenho técnico, mas também a viabilidade econômica das soluções estudadas. O orçamento na construção civil consiste na estimativa detalhada dos insumos e serviços necessários à execução da obra, considerando custos diretos, como materiais, mão de obra e equipamento, e custos indiretos, relacionados à administração e gestão do empreendimento (Souza; Medeiros, 2017).

No Brasil, a principal referência de preços para orçamento de obras públicas e privadas é o SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil), desenvolvido pela Caixa Econômica Federal e pelo IBGE. Essa base fornece composições de custos padronizadas, atualizadas mensalmente, e abrangendo todos os estados brasileiros. Cada composição contempla a descrição do serviço, os coeficientes de consumo de materiais, equipamentos e mão de obra, bem como os respectivos valores unitários, tornando possível a comparação direta entre diferentes sistemas construtivos de forma objetiva e transparente (Caixa; IBGE, 2024).

3. METODOLOGIA

3.1. Estrutura Geral da Pesquisa

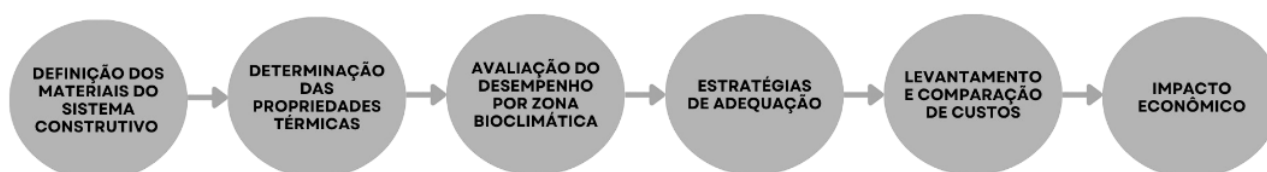
O desenvolvimento do estudo foi realizado em etapas sequenciais. Primeiramente, foram identificados os ambientes de permanência prolongada (APP), em sequência, foram definidos os materiais e as camadas que compõem cada sistema construtivo, considerando configurações comumente empregadas no mercado e em obras do mesmo porte. Em seguida, com base no método de cálculo simplificado estabelecido pela NBR 15575:2021, determinaram-se os valores de transmitância térmica (U), capacidade térmica (CT) das paredes externas, percentual de abertura para ventilação dos APP ($P_{V,APP}$) e o percentual de elementos transparente dos APP ($P_{t,APP}$).

Na etapa seguinte, para os sistemas que não atenderem os requisitos térmicos mínimos estabelecidos pela norma, foram propostas estratégias de adequação, com o reprocessamento dos cálculos térmicos para verificar a influência das espessuras e dos tipos de matérias em cada sistema construtivo.

Por fim, foi realizado um levantamento, com base no projeto de estudo de habitação de interesse social (HIS) utilizado como referência neste trabalho, das paredes externas correspondente a cada sistema construtivo. Em seguida, desenvolveu-se uma análise econômica comparativa simples, com base nos custos unitários obtidos no Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), desconsiderando os gastos indiretos e considerando apenas os itens específicos de cada sistema. Nessa etapa, buscou-se avaliar a influência financeira das estratégias de adequação térmica adotadas.

Esse conjunto de etapas permitiu uma avaliação integrada, relacionando o desempenho térmico normativo ao custo de execução, com o objetivo de identificar o sistema construtivo mais eficiente economicamente viável em diferentes contextos climáticos do Brasil. Todas as etapas descritas podem ser visualizadas de forma sequencial no fluxograma como exposto pela Figura 8.

Figura 8 – Fluxograma das etapas da metodologia aplicada.



Fonte: Autor (2025).

3.2. Definição dos Sistemas Construtivos

Nesta etapa foram definidos os materiais e as camadas que compõem cada sistema construtivo analisado, servindo de base para a verificação do desempenho térmico e para o levantamento de custos iniciais. As informações foram obtidas a partir de catálogos técnicos de fabricantes, do caderno da Caixa Econômica Federal de casas populares e referências normativas, assegurando a representatividade dos sistemas mais utilizados no contexto brasileiro. As características dos sistemas em alvenaria convencional com estrutura de concreto armado, alvenaria estrutural e ICF podem ser consultadas na Tabela 1, Tabela 2 e Tabela 3, respectivamente.

Tabela 1 – Características adotadas para alvenaria convencional.

Alvenaria Convencional	
Sistema	Materiais
Pilares e Vigas	Dimensões 14x30cm, moldadas in loco, com forma de madeira, armadas com barras de aço de 10mm de diâmetro longitudinal e barras de aço de 5mm de diâmetro transversais, com concreto usinado bombeável, FCK 25MPa
Vergas e Contravergas	Pré-moldadas, com transpasse de 20cm para cada lado, para cada vão, com 10cm de espessura
Alvenaria	Tijolos cerâmicos de 8 furos 9x19x19 cm, assentados com argamassa com 15mm de espessura e encunhamento em tijolo maciço
Revestimento Externo e Interno	Chapisco aplicado em alvenaria e estruturas de concreto, com 5mm de espessura em cada lado. Argamassa única, preparo manual, com 1cm de espessura interno e externo

Fonte: Autor (2025).

Tabela 2 – Características adotadas para alvenaria estrutural.

Alvenaria Estrutural	
Sistema	Materiais
Viga de Respaldo	Viga de travamento / respaldo de alvenaria composta de 1 fiada de blocos de concreto tipo calha 14 x 19 x 29 cm, com concreto 25 MPa. Armação c/ 2 barras de ferro corridos diâmetro de 10.0 mm
Vergas e Contravergas	Blocos de concreto tipo calha 9 x 19 x 39cm com concreto 25 MPa, armação c/ 2 barras de ferro corridas diâmetro de 8.0mm, com 30cm de traspasse
Alvenaria	Alvenaria 1/2 vez de blocos de concreto 9 x 19 x 39 cm, assentados com argamassa de cimento, cal e areia no traço 1:0,5:8
Revestimento Externo e Interno	Chapisco aplicado em alvenaria e estruturas de concreto, com 5mm de espessura em cada lado. Argamassa única, preparo manual, com 2cm de espessura interno e externo

Fonte: Autor (2025).

Tabela 3 – Características adotadas para ICF.

Sistema ICF	
Sistema	Materiais
Estrutura / Vedação	Fôrmas de EPS de 125x40x12cm, preenchidas com concreto usinado bombeado FCK=25 MPa) com 6cm de espessura, e 3cm de espessura de EPS tanto externo, quanto interno totalizando 12cm de espessura, barras de aço Ø6,3mm para colocação nas posições vertical e horizontal e presilhas plásticas para a amarração dos aços em formato de uma grelha.
Revestimentos	Chapisco aplicado em alvenaria e estruturas de concreto, com 5mm de espessura em cada lado. Argamassa única, preparo manual, com 1cm de espessura interno e externo

Fonte: Autor (2025).

3.3. Caracterização do Projeto de Estudo

O projeto adotado para a análise corresponde a uma residência unifamiliar térrea, com área construída de aproximadamente 42m², representativa de uma habitação de interesse social do tipo Casa Popular da Caixa Econômica Federal, como ilustra na Figura 9.

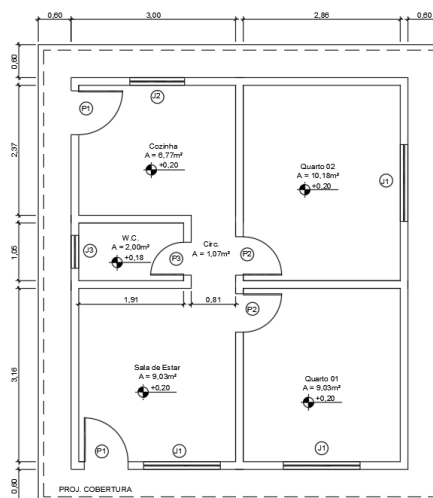
Figura 9 – Vista 3D da unidade habitacional.



Fonte: Caixa (2021).

A edificação apresenta planta funcional e compacta, composta por dois dormitórios, um banheiro, como ilustra a Figura 10.

Figura 10 – Planta baixa da unidade habitacional.



Fonte: Caixa (2021).

A cobertura é do tipo duas águas, com estrutura em madeira e telhas cerâmicas, proporcionando proteção adequada contra intempéries e bom desempenho térmico. As aberturas estão apresentadas na Tabela 4, podendo ser ajustadas posteriormente em estudos de desempenho térmico (Caixa, 2021).

Tabela 4 – Quadro de esquadrias da unidade habitacional.

Quadro de Esquadrias	
Portas	
P1	0,80 x 2,10m
P2	0,70 x 2,10m
P3	0,60 x 2,10m
Janelas	
J1	1,40 x 1,40m - P = 1,00m
J2	1,00 x 1,20m - P = 1,20m
J3	0,60 x 0,60m - P = 1,60m
P = Peitoril, altura do fundo da janela ao piso acabado (m)	

Fonte: Caixa (2021).

Esse modelo foi adotado como base de comparação entre os sistemas construtivos de alvenaria convencional, alvenaria estrutural e *Insulated Concrete Forms* (ICF), mantendo-se constantes as áreas internas, a planta e o *layout* arquitetônico. Dessa forma, as diferenças de desempenho térmico e de custo foram atribuídas exclusivamente às características das paredes dos sistemas construtivos analisados.

3.4. Compatibilização das Zonas Bioclimáticas Segundo a Atualização da ABNT NBR 15220

Para compatibilizar as classificações climáticas adotadas entre as normas, foi necessário estabelecer uma correspondência entre as zonas bioclimáticas definidas na ABNT NBR 15220-3 e aquelas previstas na versão anterior de 2005, uma vez que a ABNT NBR 15575:2021 ainda se baseia na divisão antiga de oito zonas. Para isso, foram consideradas cidades representativas, que correspondem a municípios selecionados como referência para caracterizar as condições climáticas predominantes de cada zona bioclimática. Dessa forma, estabeleceu-se uma correlação entre as cidades representativas das doze novas zonas bioclimáticas apresentadas na versão atual da NBR 15220-3 e as zonas em que essas mesmas cidades se enquadram segundo a versão anterior da norma (Tabela 5). Essa correspondência permitiu definir, de maneira aproximada, a equivalência entre as classificações, possibilitando o uso dos limites estabelecidos pela NBR 15575:2021, de modo a manter a coerência dos resultados e a comparabilidade entre os sistemas construtivos analisados.

Tabela 5 – Compatibilização entre as zonas bioclimáticas considerando a atualização da NBR 15220.

Cidade Representativa	Zona Bioclimática (2024)	Zona Bioclimática Correspondente (2005)
Canela - RS	1R	Z1
Curitiba - PR	1M	Z1
Porto Alegre -RS	2R	Z3
São Paulo - SP	2M	Z3
Florianópolis - SC	3A	Z3
Brasília - DF	3B	Z4
Rio de Janeiro - RJ	4A	Z8
Goiânia - GO	4B	Z6
Recife - PE	5A	Z8
Cuiabá - MT	5B	Z7
Fortaleza - CE	6A	Z8
Petrolina - PE	6B	Z7

Fonte: Adaptado NBR 15220 (2005 e 2024).

3.5. Aplicação do Método Simplificado da NBR 15575:2021 para Avaliação do Desempenho Térmico

A avaliação do desempenho térmico das paredes verticais dos sistemas construtivos foi realizada por meio do método simplificado previsto na ABNT NBR 15575-4:2021, que permitiu estimar de forma prática o desempenho térmico da envoltória das edificações, sem a necessidade de simulações computacionais detalhadas ou ensaios experimentais. Esse método baseia-se em quatro critérios de cálculos estabelecidos pela norma, cada um com limites mínimos a serem atendidos. A seguir, cada critério será apresentado e detalhado conforme os valores e limites definidos pela norma.

O primeiro critério avaliado é a transmitância térmica (U) das paredes externas, que indica a quantidade de calor que atravessa uma parede por unidade de área e diferença de temperatura. Esse parâmetro está

diretamente relacionado à resistência térmica (R) do elemento construtivo, que representa a capacidade da parede de resistir à passagem do calor. Para calcular a resistência térmica de cada camada utiliza-se a relação da espessura do material (e) e a condutividade térmica (λ). A condutividade térmica é uma propriedade relacionado ao tipo de material presente em cada seção, sendo os valores dos materiais utilizados apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Condutividade térmica de cada material utilizado.

Sistemas	Camadas	Condutividade Térmica (W/m.K)
Alvenaria Convencional	Argamassa de Assentamento	1,000
	Reboco	1,000
	Tijolo Cerâmico	1,000
Alvenaria Estrutural	Argamassa de Assentamento	1,000
	Reboco	1,000
	Bloco de Concreto	1,650
Sistema ICF	Concreto Armado (2%)	2,500
	EPS (Poliestireno Expandido)	0,035
	Reboco	1,000

Fonte: ABNT NBR ISO 10456 (2022).

Quando a camada da parede é composta por materiais diferentes em paralelo, como no caso de paredes ICF e tijolos de cerâmicas com argamassas de assentamento, a resistência térmica (R) da camada é calculada pela média ponderada das resistências de cada fração do material, como demonstra a equação 1.

$$R_{total} = \frac{\sum i(Li/\lambda_i) \times f_i}{R \sum i(f_i)} \quad (1)$$

Onde:

R_{total} = Resistências térmicas total de todas as camadas [$m^2.K/W$];

Li = Espessura do material (m)

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

f_i = Fração da área ocupada pelo material (W/ $m^2.K$).

A transmitância térmica (U) é obtida como o inverso da resistência total, como demonstra a Equação 2;

$$U = \frac{1}{R_{total} + RSE + RSI} \quad (2)$$

Onde:

R_{total} = Resistências térmicas total da parede ($m^2.K/W$);

RSE = Resistências superficiais externas ($m^2.K/W$);

RSI = Resistências superficiais internas ($m^2.K/W$);

U = Transmitância térmica (W/ $m^2.K$).

Por se tratar de comparação apenas de paredes verticais, foram adotadas as resistências superficiais padronizadas indicadas pela norma:

- Resistência superficial externa (RSE): 0,04 $m^2.K/W$
- Resistência superficial interna (RSI): 0,13 $m^2.K/W$

A norma também define parâmetros auxiliares para caracterização térmica das superfícies, como a absorvância solar (α), que indica a fração da radiação solar absorvida pelo material. Esse fator influencia o aquecimento das superfícies expostas e é essencial para avaliar o desempenho térmico. A Figura 11 apresenta os valores de absorvância do Catálogo de Propriedades do RAC, usados como referência para diferentes acabamentos e cores externas.

Figura 11 – Catálogo de propriedades térmicas, conforme cores.

NÚMERO	COR	NOME	α
01		Amarelo Antigo	51,4
02		Amarelo Terra	64,3
03		Areia	44,9
04		Azul	73,3
05		Azul Imperial	66,9
06		Branco	15,8
07		Branco Gelo	37,2
08		Concurça	57,4
09		Concreto	74,5
10		Flamingo	49,5
11		Jade	52,3
12		Marfim	33,6
13		Palha	36,7
14		Pêrola	33,0
15		Pêssego	42,8
16		Tabaco	78,1
17		Terracota	64,6

Fonte: Catálogo de Propriedades RAC (2022).

Com isso, é possível identificar na Tabela 7 os limites máximos de transmitância térmica (U) estabelecidos pela ABNT NBR 15575-4:2021 para as zonas bioclimáticas brasileiras.

Tabela 7 – Transmitância térmica de referência para as oito zonas bioclimáticas.

Transmitância térmica de paredes (U) W/m².K		
Zonas bioclimáticas 1 e 2	Zonas bioclimáticas 3 a 8	
$U \leq 2,7$	$\alpha \leq 0,6$	$\alpha > 0,6$
	$U \leq 3,7$	$U \leq 2,5$

Fonte: NBR 15575 (2021).

O segundo critério do método simplificado é a capacidade térmica (CT) das paredes externas, que representa a quantidade de calor que o elemento é capaz de armazenar quando submetido a variações de temperatura. De acordo com a ABNT NBR 15220-2:2022, a capacidade térmica é determinada pela multiplicação entre a espessura das camadas, o calor específico e a densidade de massa aparente de cada material, conforme a Equação (3).

$$C = \sum e_j \times c_j \times \rho_j \quad (3)$$

Onde:

C = Capacidade térmica (kJ / (m².K));

e_j = Espessura da camada (m);

c_j = Calor específico do material da camada (kJ/kg.K);

ρ_j = Densidade de massa aparente do material da camada (kg/m³).

Quando o elemento construtivo analisado não é formado por uma camada homogênea, é necessário realizar uma ponderação em função das áreas correspondentes a cada material, de modo a obter um valor representativo da capacidade térmica total, conforme expresso na Equação (4).

$$C = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{CT_a} + \frac{A_b}{CT_b} + \dots + \frac{A_n}{CT_c}} \quad (4)$$

Onde:

C = Capacidade térmica (kJ / (m².K));

A_n = Área da seção (m).

Os valores de densidade e calor específico foram obtidos conforme a NRB ISO 10456:2022 e estão apresentados na Tabela 8, que reúne as propriedades térmicas dos materiais estudados.

Tabela 8 – Propriedades térmicas dos materiais em estudo.

Sistemas	Camadas	Calor específico (kJ/(kg.K))	Densidade de massa aparente (kg/m³)
Alvenaria Convencional	Argamassa de Assentamento	1000	1800
	Reboco	1000	1800
	Tijolo Cerâmico	920	1700
Alvenaria Estrutural	Argamassa de Assentamento	1000	1800
	Reboco	1000	1800
	Bloco de Concreto	1000	2200
	Concreto Armado (2%)	1000	2400
Sistema ICF	EPS (Poliestireno Expandido)	1420	22
	Reboco	1000	1800

Fonte: NBR ISO 10456 (2022).

Segundo a NBR 15575-4:202, as paredes externas devem possuir valor de capacidade térmica igual ou superior ao valor de referência, de acordo com a Tabela 9.

Tabela 9 – Limites de capacidade térmica.

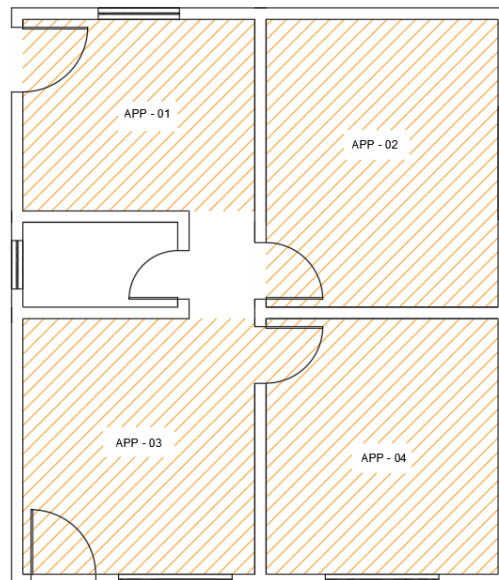
Capacidade térmica das paredes (CT) kJ/(m².K)	
Zonas Bioclimáticas 1 a 7	Zonas Bioclimáticas 8
CT ≥ 130	Sem requisito

Fonte: NBR 15575-4 (2021).

Os outros dois critérios do método simplificado não variam conforme o sistema construtivo, pois se referem ao percentual de aberturas para ventilação e aos elementos transparentes. Ainda assim, será realizada a verificação desses parâmetros para confirmar se o projeto atende aos limites e exigências estabelecidos pela ABNT NBR 15575-4:2021.

O terceiro critério é o de percentual de abertura para ventilação (PV_{APP}), que avalia a proporção de aberturas em relação à área do ambiente. Primeiramente, são identificadas todas as áreas de permanência prolongada (APP), como dormitórios e salas, conforme exemplificado na Figura 12.

Figura 12 – Divisão de APP da unidade habitacional.



Fonte: Autor (2025).

Em seguida, o percentual é calculado a partir da relação entre a área efetiva de abertura para ventilação de cada APP por área de piso do APP, como expressa a Equação (4).

$$P_{V.APP} = 100 \times \frac{A_{V.APP}}{A_{P.APP}} \quad (4)$$

Onde:

$P_{V,APP}$ = Percentual de abertura para ventilação do APP (%);

$A_{V,APP}$ = Área efetiva de abertura para ventilação do APP (m²);

$A_{p,APP}$ = Área de piso do APP (m²).

Com isso, são apresentados na Tabela 10 os critérios de percentual de abertura e as referências para ventilação natural, conforme os limites estabelecidos pela ABNT NBR 15575-4:2021.

Tabela 10 – Limites de abertura de ventilação.

Percentual de abertura para ventilação	ZB 1 a 7	$P_{V,APP} \geq 7,0\%$ da área do piso
	ZB 8 - Região Norte do Brasil	$P_{V,APP} \geq 12,0\%$ da área do piso
	ZB 8 - Regiões Nordeste e Sudeste do Brasil	$P_{V,APP} \geq 8,0\%$ da área do piso

Fonte: NBR 15575-4 (2021).

Por fim, o quarto critério refere-se aos elementos transparentes, os quais devem atender a um percentual mínimo em relação à área de piso das APP. O percentual de elementos transparentes é obtido pela relação entre a área de superfície dos elementos transparentes e a área de piso do respectivo ambiente, conforme expressa a Equação (5).

$$P_{t,APP} = 100 \times \frac{A_{t,APP}}{A_{p,APP}} \quad (4)$$

Onde:

$P_{t,APP}$ = Percentual de elementos transparentes do APP (%);

$A_{t,APP}$ = Área de superfície dos elementos transparentes do APP (m²);

$A_{p,APP}$ = Área de piso do APP (m²).

Os limites estabelecidos pela norma para o percentual de elementos transparentes estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 – Proporção de referência dos elementos transparentes.

Percentual de elementos transparentes ($P_{t,APP}$)	Área de Superfície dos elementos transparentes ($A_{t,APP}$)
$A_{p,APP} \leq 20,0\text{m}^2$	$A_{p,APP} \leq 20,0\text{m}^2$
$P_{t,APP} \leq 20\%$	$A_{t,APP} \leq 4,0\text{m}^2$

Fonte: NBR 15575-4 (2021)

3.6. Estratégias de adequação

Com base na verificação do desempenho térmico, os sistemas construtivos que não atenderam aos resultados, de modo a cumprir os critérios normativos e elevar o nível de conforto térmico interno.

Foram adotadas duas estratégias visando aprimorar o desempenho térmico sem alterar significativamente a composição dos materiais de cada sistema construtivo. A primeira consiste no aumento da espessura dos revestimentos externo e interno, aplicável a todos os sistemas analisados. A segunda estratégia varia conforme o tipo de sistema, nas alvenarias, foi realizado a substituição do bloco ou tijolo por unidade de maior espessura; já no sistema ICF, adotar uma forma maior, para, assim como as alvenarias, aumentar a espessura da composição interna.

Com isso, foram recalculados os valores anteriores, considerando as adequações aplicadas, e os resultados ajustados foram então demonstrados, permitindo avaliar o impacto das estratégias de melhoria no desempenho térmico dos sistemas construtivos.

3.6. Levantamento de Custos e Composição Orçamentária

A avaliação econômica dos sistemas construtivos será realizada por meio do levantamento detalhado dos custos de execução das paredes externas de alvenaria convencional, alvenaria estrutural e ICF, considerando apenas os elementos exclusivos de cada sistema, e excluindo a parte interna da análise financeira. Serão

desconsiderados custos de itens comuns a todos os projetos, como fundações, coberturas, esquadrias e instalações, de forma a permitir uma comparação direta entre os elementos da vedação vertical.

Os custos serão obtidos com base nos valores do SINAPI referentes ao mês de setembro de 2025, para o estado de Mato Grosso do Sul, considerando mão de obra não desonerada. Para o sistema ICF, cujos valores não estão disponíveis no SINAPI, foram utilizados dados fornecidos pela ICF Construtora (2025) e iForms (2025), garantindo consistência da estimativa.

Para cada sistema construtivo, serão compiladas as composições de materiais, serviços e mão de obra, permitindo calcular o valor global de escolha construtiva. Com o valor global, será calculado o valor por metro quadrado de parede para cada método construtivo. Além do custo base, será analisado o impacto financeiro das adaptações necessárias para atender aos requisitos do conforto térmico em cada zona bioclimática. O custo adicional será estimado a partir das mesmas composições, possibilitando quantificar o efeito econômico de cada estratégia de adequação.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Desempenho Térmico

Na etapa inicial, foi calculado o percentual de abertura de ventilação e o percentual de elementos transparentes da edificação, que são dois parâmetros independentes do método construtivo, mas dependentes da disposição das aberturas da unidade habitacional. Esses valores foram determinados com base na área total de piso e nas áreas correspondentes às aberturas e elementos transparentes, sendo apresentados na Tabela 12.

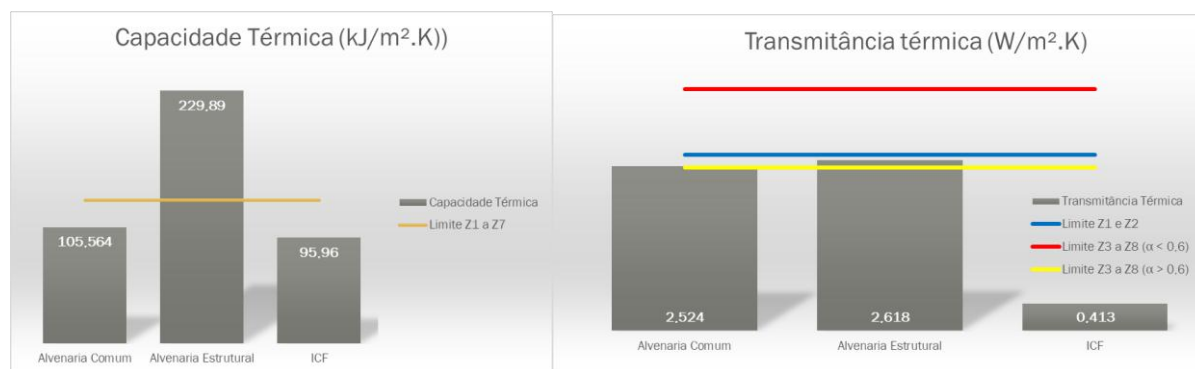
Tabela 12 – Valores obtidos para abertura de ventilação e elementos transparentes.

APP	Área de Piso (m ²)	Área de Ventilação (m ²)	Ventilação (> 12%)	Área Translúcida (m ²)	Elementos Transparentes (<20%)
APP - 01	6,77	1,2	17,73%	0,300	4,43%
APP - 02	10,18	1,96	19,25%	0,490	4,81%
APP - 03	9,03	1,96	21,71%	0,490	5,43%
APP - 04	9,03	1,96	21,71%	0,490	5,43%

Fonte: Autor (2025).

Em seguida, foram calculados os valores de transmitância térmica e capacidade térmica para os três sistemas construtivos, conforme as características adotadas inicialmente, como apresentado nos gráficos da Figura 13.

Figura 13 – Gráficos de valores obtidos para transmitância e capacidade térmica.



Fonte: Autor (2025).

Com esses valores, foi possível comparar os resultados com os limites estabelecidos pela NBR 15575-4:2021 e verificar se os sistemas construtivos atendem ao desempenho térmico esperado nas configurações iniciais e comparando com cada zona bioclimática correspondente, como apresenta a Tabela 13.

Tabela 13 – Valores obtidos pelo método simplificado da ABNT NBR 15575:4-2021.

Cidade Representativa	Zona Bioclimática (2024)	Zona Bioclimática Correspondente (2005)	Absortância térmica (U)			Capacidade térmica (CT)		
			Alvenaria Comum	Alvenaria Estrutural	ICF	Alvenaria Comum	Alvenaria Estrutural	ICF
Canela - RS	1R	Z1	Atende	Atende	Atende	Não Atende	Atende	Não atende
Curitiba - PR	1M	Z1	Atende	Atende	Atende	Não Atende	Atende	Não atende
Porto Alegre -RS	2R	Z3	Depende de α	Depende de α	Atende	Não Atende	Atende	Não atende
São Paulo - SP	2M	Z3	Depende de α	Depende de α	Atende	Não Atende	Atende	Não atende
Florianópolis - SC	3A	Z3	Depende de α	Depende de α	Atende	Não Atende	Atende	Não atende
Brasília - DF	3B	Z4	Depende de α	Depende de α	Atende	Não Atende	Atende	Não atende
Rio de Janeiro - RJ	4A	Z8	Depende de α	Depende de α	Atende	Atende	Atende	Atende
Goiânia - GO	4B	Z6	Depende de α	Depende de α	Atende	Não Atende	Atende	Não atende
Recife - PE	5A	Z8	Depende de α	Depende de α	Atende	Atende	Atende	Atende
Cuiabá - MT	5B	Z7	Depende de α	Depende de α	Atende	Não Atende	Atende	Não atende
Fortaleza - CE	6A	Z8	Depende de α	Depende de α	Atende	Atende	Atende	Atende
Petrolina - PE	6B	Z7	Depende de α	Depende de α	Atende	Não Atende	Atende	Não atende

α = Absortância solar, propriedade conforme o revestimento externo

Fonte: Autor (2025).

Analisando a transmitância térmica dos sistemas construtivos estudados, observa-se que o sistema ICF apresenta desempenho satisfatório em todas as zonas analisadas. Já as alvenarias convencional e estrutural apresentam desempenho apenas parcial, pois dependem da cor do acabamento externo, quando são utilizadas cores mais claras, com absortância inferior a 0,60, os resultados atendem aos limites estabelecidos pela norma de desempenho.

Quanto à capacidade térmica, a alvenaria estrutural apresenta resultados superiores à alvenaria comum, atendendo em todas as localidades, enquanto o sistema ICF pode não atender algumas regiões devido à menor massa e inércia térmica de suas paredes.

Portanto, os únicos resultados que seriam aprovados pela norma de desempenho térmico pelo método simplificado, sem depender de alterações na cor do revestimento externo, são os de alvenaria estrutural nas zonas 1 e 2 e os do sistema ICF nas zonas 8.

4.2. Estratégias de Adequação

Como os três sistemas construtivos iniciais não apresentaram resultados satisfatórios em relação aos requisitos mínimos de desempenho térmico para todas as zonas, foi necessário adotar estratégias de adequação para melhorar seu comportamento térmico. Essas estratégias estão descritas na Tabela 14, onde estão propostos três tipos de alterações.

Tabela 14 – Adaptações sugeridas.

Sistema	Adaptação 1	Adaptação 2	Adaptação 3
Alvenaria Comum	Escolha de cores claras para revestimento externo	Aumento do revestimento externo de 1,5cm para 2,5cm	Mudança para blocos cerâmicos de 14x19x29
Alvenaria Estrutural	Escolha de cores claras para revestimento externo	Aumento do revestimento externo de 2,5 cm para 3,5cm	Mudança para bloco de concreto de 19x19x39
Sistema ICF	Escolha de cores claras para revestimento externo	Aumento do revestimento externo de 2,5cm para 3,5cm	Aumento da forma, para 18cm

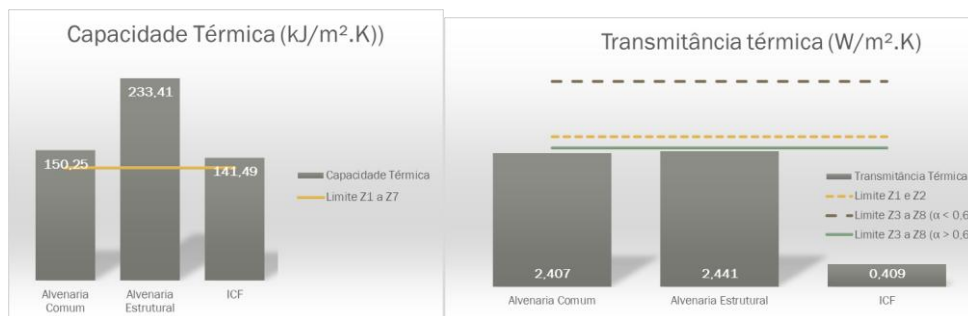
Fonte: Autor (2025).

A primeira estratégia de adequação proposta consiste na adoção de cores claras para o revestimento externo, medida simples e de baixo custo que contribui para a redução da absorção de radiação solar. Essa alteração não modifica os valores de transmitância térmica, porém altera o valor de absortância térmica (α) dos três sistemas construtivos, aumentando assim o limite de tolerância para a transmitância térmica. No entanto, mesmo com essa mudança, a capacidade térmica mínima ainda não é atendida pela alvenaria convencional e pelo sistema ICF, exigindo novas medidas complementares.

A segunda estratégia adotada consistiu no incremento de um centímetro na espessura dos revestimentos interno e externo das paredes. Tal modificação resultou em um discreto acréscimo na resistência térmica total do elemento construtivo. Embora o ganho obtido seja modesto, essa medida representa uma solução prática e

de fácil aplicação. Os valores de transmitância térmica e capacidade térmica determinados encontram-se apresentados na Figura 14.

Figura 14 – Gráfico com valores das propriedades após a segunda adequação.

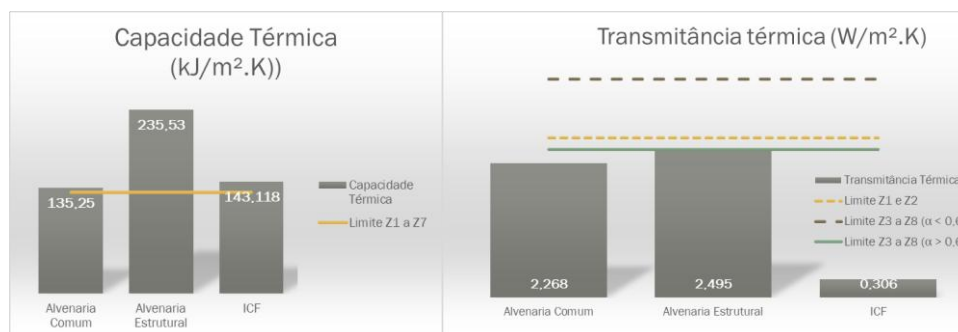


Fonte: Autor (2025).

Nota-se que a segunda adequação foi suficiente para que todos os sistemas construtivos atendam aos limites mínimos estabelecidos pela norma, demonstrando-se uma solução prática e de fácil aplicação. O aumento de um centímetro nos revestimentos internos e externos proporcionou a melhoria necessária no desempenho térmico, especialmente na capacidade térmica das paredes, sem alterar significativamente os processos construtivos.

A terceira estratégia de adequação consiste em alterações mais significativas nas dimensões dos elementos construtivos, visando aumentar a massa e, conseqüentemente, a capacidade térmica das paredes. Essa medida promove um ganho expressivo no desempenho térmico dos sistemas, permitindo atender aos critérios de capacidade térmica e transmitância térmica definidos pela norma, como ilustra a Figura 15.

Figura 15 – Valores das propriedades após a terceira adequação.



Fonte: ABNT NBR 15220 (2024).

Observa-se que a terceira adequação também atende plenamente aos requisitos mínimos estabelecidos pela norma, garantindo que todos os sistemas construtivos cumpram os critérios de transmitância e capacidade térmica.

Cabe salientar que o estudo demonstra que uma mesma solução construtiva não é adequada para todas as regiões do país, em razão da diversidade climática brasileira, sendo necessárias adaptações que assegurem o atendimento aos critérios estabelecidos pelas normas técnicas. No entanto, alcançar esses valores é possível mediante pequenas intervenções. Observa-se que, mesmo com a alteração da cor das superfícies, o sistema ICF não atendeu aos requisitos em praticamente todas as regiões, em função da sua baixa capacidade térmica. Dessa forma, o aumento da espessura das camadas torna-se uma intervenção praticamente obrigatória para o atendimento às exigências normativas.

4.3. Levantamento de Custos

Primeiramente, foi realizado o levantamento de todos os itens específicos de cada sistema construtivo referentes às paredes de fechamento vertical, conforme a planta baixa da unidade habitacional utilizada como referência para análises. Os levantamentos correspondentes a cada sistema (alvenaria convencional, alvenaria estrutural e sistema ICF) estão apresentados nas tabelas 15, 16 e 17, respectivamente.

Tabela 15 – Levantamento de serviços para alvenaria convencional.

Alvenaria Convencional	
Pilares	
Forma	19,00m ²
Armação 5mm	15,52kg
Armação 10mm	54,30kg
Concretagem	0,90m ³
Vigas	
Forma	19,65m ²
Armação 5mm	18,57kg
Armação 8mm	40,38kg
Concretagem	1,07m ³
Vergas	10,2m
Contravergas	7,8m
Alvenaria	71,48m ²
Encunhamento	26,56m
Reboco (1,5cm)	142,95m ²

Fonte: Autor (2025).

Tabela 16 – Levantamento de serviços para alvenaria estrutural.

Alvenaria Estrutural	
Cinta de Amarração	26,56m
Armação	50,55kg
Verga	10,2m
Alvenaria	71,48m ²
Reboco (2,5cm)	142,95m ²

Fonte: Autor (2025).

Tabela 17 – Levantamento de serviços para sistema ICF.

Sistema ICF	
Formas ICF	144 un
Armação	72,77kg
Concretagem	4,29m ³
Reboco (2,5cm)	142,95m ²

Fonte: Autor (2025).

Com os levantamentos realizados, foram atribuídos aos serviços correspondentes os itens específicos do sistema construtivo na tabela do SINAPI, permitindo a determinação do custo unitário e do custo total das paredes externas para cada sistema.

4.4. Impacto Financeiro para as Adaptações

Inicialmente, o valor total de cada sistema construtivo foi dividido pela metragem quadrada das paredes externas, para cada modelo, obtendo-se o custo inicial por metro quadrado, sem considerar quaisquer adequações, como apresentado na Tabela 18.

Tabela 18 – Custo do metro quadrado das paredes externas.

Sistema Construtivo	Custo /m ² (R\$)
Alvenaria Convencional	255,85
Alvenaria Estrutural	239,25
Sistema ICF	243,81

Fonte: Autor (2025).

A primeira estratégia, que consistiu na adoção de cores claras para o revestimento externo, não envolveu alterações nos materiais nem aumento de espessura. Embora represente uma solução viável, essa medida não é suficiente para atender integralmente aos critérios de capacidade térmica em todas as zonas. Para a alvenaria convencional e o ICF, essa alteração não aumenta a capacidade térmica, sendo suficiente apenas para a Zona 8, que não possui requisitos mínimos, nas demais zonas, os critérios não são atendidos. Já na alvenaria estrutural, todas as zonas são atendidas, tornando a adequação suficiente para esse modelo construtivo.

Como, para a alvenaria estrutural, a primeira solução já é suficiente, sem necessidade de alterar a composição interna nem as espessuras, as outras duas adequações serão aplicadas apenas aos dois demais métodos construtivos.

A segunda estratégia adotada, referente ao aumento da espessura dos revestimentos interno e externo, ocasionou exclusivamente a variação na quantidade de material, sem alteração na natureza do material empregado. Essa mudança pode ser identificada pelos valores finais apresentados na Tabela 19, que evidencia a melhoria no desempenho térmico.

Tabela 19 – Custo final por metro quadrado após adaptação.

Sistema Construtivo	Custo /m ² (R\$)	Custo /m ² (R\$) após segunda adaptação
Alvenaria Convencional	255,85	283,54
Sistema ICF	243,81	271,31

Fonte: Autor (2025).

Para a terceira estratégia, foi necessária a substituição de alguns itens de serviço. Na alvenaria convencional, o item 103328 foi substituído pelo 103362 da tabela SINAPI, correspondente à alvenaria de blocos cerâmicos de 19x19x29cm. No sistema ICF, houve alteração no valor das formas, considerando R\$74,50 por cada forma de 18cm, conforme a tabela da iForms, além do aumento da espessura do núcleo de concreto de 6cm para 10cm. Após a aplicação de todas as alterações, os custos finais por metro quadrado podem ser visualizados na Tabela 20.

Tabela 20 – Custo final por metro quadrado após adaptação.

Sistema Construtivo	Custo /m ² (R\$)	Custo /m ² (R\$) após terceira adaptação
Alvenaria Convencional	255,85	262,84
Sistema ICF	243,81	285,70

Fonte: Autor (2025).

Para a etapa final da análise, torna-se essencial relacionar os custos de cada sistema construtivo aos resultados obtidos em termos de desempenho térmico, considerando as diferentes estratégias de adequação aplicadas. Essa abordagem possibilita avaliar a eficiência das intervenções não apenas sob o aspecto técnico, mas também sob a perspectiva econômica, permitindo uma apreciação mais abrangente do custo-benefício associado a cada medida adotada. Essa relação está apresentada na Tabela 21.

Tabela 21 – Comparativo de custos após adaptações.

Sistema Construtivo	Custo Inicial por m ² (R\$)	Aumento de custo por m ² 1º Adaptação (R\$)	Aumento de custo por m ² 2º Adaptação (R\$)	Aumento de custo por m ² 3º Adaptação (R\$)
Alvenaria Comum	255,85	0 (0%)	27,69 (10,8%)	6,99 (2,6%)
Alvenaria Estrutural	239,25	0 (0%)	-	-
ICF	243,81	0 (0%)	27,50 (11,3%)	41,89 (17,2%)

Fonte: Autor (2025).

5. CONCLUSÕES

O presente estudo avaliou o desempenho térmico e a viabilidade econômica de sistemas construtivos em alvenaria convencional, alvenaria estrutural e ICF em edificações residenciais, considerando o método simplificado da ABNT NBR 15575:2021 e os parâmetros da NBR 15220:2024 para as doze zonas bioclimáticas brasileiras. Os resultados demonstraram que o sistema ICF apresentou a menor transmitância térmica, indicando maior eficiência de isolamento em comparação aos sistemas de alvenaria, enquanto a alvenaria convencional e a estrutural se mostraram mais próximas dos limites mínimos das normas. Por outro lado, o sistema ICF apresentou o menor valor de capacidade térmica, mostrando que, embora ofereça excelente isolamento, sua capacidade de armazenar calor é inferior à das alvenarias.

Entre as estratégias avaliadas, a escolha de cores apresentou impacto técnico limitado, mas custo praticamente nulo; o aumento das camadas de revestimentos internos e externos foi o suficiente para atender à norma, representando uma solução prática e fácil de se alterar após já iniciado a construção, já as alterações mais significativas nos elementos construtivos garantiram a maior mudança no desempenho máximo.

A análise econômica mostrou que é possível equilibrar eficiência térmica e custos, permitindo decisões mais conscientes sobre a adoção de estratégias e a escolha de materiais. Os resultados evidenciam que intervenções simples, como o aumento de um centímetro na espessura do revestimento cimentício, implicaram um aumento médio de cerca de 11% nos custos totais dos sistemas analisados. Por outro lado, alterações mais significativas nas dimensões, massas e tipos de materiais resultaram em custos menores para a alvenaria convencional, mas em custos expressivos para o sistema ICF, embora ambos tenham atendido aos critérios normativos. Por fim, o estudo reforça a importância de avaliar sistemas construtivos e estratégias de melhoria de forma integrada, considerando aspectos técnicos e econômicos, especialmente em habitações de interesse social, onde a otimização de recursos é fundamental.

Entre as limitações do estudo, destaca-se o fato de que a norma ainda não apresenta parâmetros de referência para as novas doze zonas climáticas, sendo necessária a correlação com as antigas oito zonas para viabilizar a comparação. A ausência de consideração das coberturas, esquadrias e demais elementos da envoltória também pode influenciar o desempenho térmico global da edificação, configurando-se como uma limitação do estudo.

O trabalho contribui para evidenciar a importância da escolha adequada do sistema construtivo, da aplicação de estratégias de adequação térmica e da análise econômica integrada, fornecendo subsídios técnicos e financeiros para projetos residenciais mais eficientes e adaptados à diversidade climática do Brasil. Pesquisas futuras podem explorar a definição de transmitâncias limites específicas para cada uma das doze zonas bioclimáticas e propor uma atualização da norma NBR 15575 com base esses novos parâmetros, além de incluir simulações dinâmicas, avaliação do desempenho global da edificação e análise energética mais detalhada para complementar a compreensão do comportamento térmico e econômico das diferentes soluções construtivas.

6. AGRADECIMENTOS

Agradeço a toda minha família pelo apoio durante todos esses anos, em especial às duas mulheres que moldaram o homem que sou hoje: minha mãe, Kelly Cristiny Viana, por ser minha maior inspiração, exemplo de força e coragem, e por ter desempenhado o papel mais importante da minha vida; e minha avó, Maria de Jesus Viana, por ser o coração e a base da nossa família, nossa eterna inspiração.

À minha namorada Beatriz Zinezzi, que é meu ponto de apoio diário, que me incentiva a ser melhor em todos os momentos.

À minha orientadora, Professora Valéria Ramos Baltazar, pela paciência, pelo tempo, pelas valiosas orientações e pelo conhecimento compartilhado, fundamental para o desenvolvimento deste trabalho.

E, por fim, à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul e ao curso de Engenharia Civil, pela formação sólida e pelas experiências que contribuíram significativamente para meu crescimento pessoal e profissional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ABNT. NBR 15220-3:2023 – Desempenho térmico de edificações — Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2023.

ABNT. NBR 15575:2021 – Edificações Habitacionais — Desempenho. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2021.

ABNT. NBR ISO 10456:2023 – Materiais e produtos para construção — Propriedades térmicas e de umidade — Valores tabulados de projeto e procedimentos para determinação de valores térmicos declarados e de projeto. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2023.

- AKUTSU, M.; et al. **Análise do potencial de desempenho térmico de diferentes tipologias de blocos cerâmicos**. ENTAC, 2012. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br>.
- AKUTSU, M.; et al. **O efeito da inércia térmica de paredes no desempenho térmico de edificações escolares**. IPT, 2013. Disponível em: <https://www.ipt.br>.
- ARXX. Guia de aplicações de Insulated Concrete Forms. Rio de Janeiro: ARXX, 2021.
- BUILDBLOCK. Relatório técnico de desempenho térmico e resíduos de construção, 2021.
- CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. Casa de 42 m²: projeto de habitação de interesse social. Banco de Projetos – Projetos HIS. Disponível em: https://www.caixa.gov.br/Downloads/banco-projetos-projetos-HIS/casa_42m2.pdf. Acesso em: 21 nov. 2025.
- ELEMENT ICF. Eficiência energética e sustentabilidade em sistemas ICF, 2022.
- FERREIRA, C. S.; LAMBERTS, R.; WESTPHAL, F. S. **Atualização do zoneamento bioclimático brasileiro com base em novas séries de dados meteorológicos**. Revista Ambiente Construído, v. 24, n. 1, p. 35–56, 2024.
- INMETRO; PROCEL. PBE Edifica – Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações. Brasília: Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia; Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, 2021. Disponível em: <https://www.pbeedifica.com.br>. Acesso em: 29 out. 2025.
- LABEE. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações – Universidade Federal de Santa Catarina. Zoneamento bioclimático brasileiro e desempenho térmico de edificações. Florianópolis: UFSC, 2021. Disponível em: <https://labeee.ufsc.br>. Acesso em: 29 out. 2025.
- LAMBERTS, R.; GORIS, F.; LEONHARDT, G.; et al. **Building Energy Performance: Simulation and Assessment**. Berlin: Springer, 2014.
- LAMBERTS, R.; PEREIRA, F. O. R.; DUTRA, L. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3. ed. São Paulo: PW Editores, 2014.
- MACHADO, et al. **Sustentabilidade e desempenho térmico em habitação de interesse social: aplicação da ferramenta ISMAS em Vitória-ES para vedações verticais**, 2020. Disponível em: https://repositorio.ifes.edu.br/handle/123456789/4452?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 29 out. 2025.
- MARTINS, M. M. **Discussão dos requisitos e dos limites das propriedades térmicas para garantia de conforto térmico segundo as normas brasileiras**. Dissertação (Mestrado) – UFMG, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br>.
- MARTINS, P. D. **Estudo dos principais desafios do desempenho térmico das edificações no Brasil**. Monografia, Universidade Federal de Ouro Preto, 2019.
- MARTINS, P. D.; ALVARENGA, M. B. S.; PEREIRA, G. J. **Principais desafios do desempenho térmico das edificações no Brasil: uma revisão**. Revista CBPAT, 2020.
- MENDES, M. V.; CÂNDIDO, L. F. **Desempenho térmico de habitações de interesse social: um estudo no semiárido nordestino**. Anais do ENTEC (ANTAC), 2020. DOI: 10.46421/entac.v18i.825.
- SANTOS, T. L.; et al. **Análise da correlação entre conforto e desempenho térmico em edificações**. Ambiente Construído, UFRGS, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br>.
- SOUZA, L. D. **Desempenho térmico de fachadas com diferentes tipos de revestimentos e isolantes térmicos**. 2024. Disponível em: <https://repositorio.unisc.br/jspui/bitstream/11624/3897/1/Laura%20Dummer%20de%20Souza.pdf>. Acesso em: 29 out. 2025.
- VANDERWERF, P. **High Performance Building Envelopes with ICF**. New York: GreenBuild, 2018.
- iFORMS. ICF – Soluções construtivas no Brasil. São Paulo: iForms, 2023.
- Luziene Souza. **Alvenaria convencional ou estrutural**. Disponível em: <https://luzienesouza.blogspot.com/2011/04/alvenaria-convencional-ou-estrutural.html>. Acesso em: 29 out. 2025.