



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CATALÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
FACULDADE DE ENGENHARIA

**Avaliação do desempenho térmico de habitação
residencial unifamiliar construída com painéis
monolíticos de espuma termoplástica rígida de
poliestireno expandido**

ROGÉRIO SANTANNA DOS SANTOS

Catalão
2023



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
UNIDADE ACADÊMICA ESPECIAL DE ENGENHARIA

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES

E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a [Lei 9.610/98](#), o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do material bibliográfico

Dissertação Tese Outro*: _____

*No caso de mestrado/doutorado profissional, indique o formato do Trabalho de Conclusão de Curso, permitido no documento de área, correspondente ao programa de pós-graduação, orientado pela legislação vigente da CAPES.

Exemplos: Estudo de caso ou Revisão sistemática ou outros formatos.

2. Nome completo do autor

ROGÉRIO SANTANNA DOS SANTOS

3. Título do trabalho

**Avaliação do desempenho térmico de habitação residencial unifamiliar
construída com painéis monolíticos de espuma termoplástica rígida de
poliestireno expandido**

4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento [X] SIM [] NÃO¹

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

- a) consulta ao(à) autor(a) e ao(à) orientador(a);
- b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação.

O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

Obs. Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.



Documento assinado eletronicamente por **Ed Carlo Rosa Paiva, Professor do Magistério Superior**, em 22/03/2023, às 14:01, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **ROGERIO SANTANA DOS SANTOS, Discente**, em 22/03/2023, às 17:06, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3615662** e o código CRC **A3C89B1F**.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CATALÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
FACULDADE DE ENGENHARIA

Avaliação do desempenho térmico de habitação residencial unifamiliar construída com painéis monolíticos de espuma termoplástica rígida de poliestireno expandido

ROGÉRIO SANTANNA DOS SANTOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Catalão, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de concentração: Estruturas e Construção Civil.

Orientador: Prof. Dr. Ed Carlo Rosa Paiva

Co-Orientador: Prof. Dr. Caio Frederico e Silva

Catalão
2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFCAT.

SANTOS, ROGÉRIO SANTANNA DOS

Avaliação do desempenho térmico de habitação residencial unifamiliar construída com painéis monolíticos de espuma termoplástica rígida de poliestireno expandido / ROGÉRIO SANTANNA DOS SANTOS. - 2022.
57, XVIII f.

Orientador: Prof. Dr. Ed Carlo Rosa Paiva; co-orientador Prof. Dr. Caio Frederico e Silva.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Catalão, Faculdade de Engenharia, Catalão, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Catalão, 2022.

Bibliografia. Anexos.

Inclui siglas, fotografias, abreviaturas, símbolos, gráfico, tabelas, lista de figuras, lista de tabelas.

1. Painéis monolíticos de EPS. 2. desempenho térmico . 3. painéis de poliestireno expandido. 4. simulação computacional. 5. NBR15575:2021. I. Paiva, Ed Carlo Rosa, orient. II. Título.

CDU 624



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

UNIDADE ACADÊMICA ESPECIAL DE ENGENHARIA

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Ata nº **8** da sessão de Defesa de Dissertação de **ROGÉRIO SANTANNA DOS SANTOS**, que confere o título de Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração em Estruturas e Construção Civil.

"Banca Examinadora de Qualificação/Defesa Pública de Dissertação/Tese realizada em conformidade com a Portaria da CAPES n. 36, de 19 de março de 2020, de acordo com seu segundo artigo: Art. 2º A suspensão de que trata esta Portaria não afasta a possibilidade de defesas de tese utilizando tecnologias de comunicação à distância, quando admissíveis pelo programa de pós-graduação stricto sensu, nos termos da regulamentação do Ministério da Educação."

Aos vinte e sete dias do mês de setembro de dois mil e vinte e dois e dois partir das 09 horas, na sala virtual (<https://meet.google.com/gbf-ahgg-pdw>), realizou-se a sessão pública de Defesa de Tese/Dissertação intitulada "**Avaliação do desempenho térmico de habitação residencial unifamiliar construída com painéis monolíticos de espuma termoplástica rígida de poliestireno expandido**" nas dependências da Universidade Federal de Catalão, onde os programas de pós-graduação stricto sensu em funcionamento encontram-se provisoriamente vinculados à Universidade Federal de Goiás, em virtude de procedimentos técnicos relacionados à CAPES, já sendo realizada a transferência da Biblioteca Digital de Dissertações e Teses (BDTD). Assim, justifica-se os nomes das instituições neste documento, uma no cabeçalho (UFG), outra no corpo do texto (UFCAT). Os trabalhos foram instalados pelo Orientador, **Professor Doutor ED CARLO ROSA PAIVA (PPGEC/UFCAT)** com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: **Professora Doutora ANA CAROLINA FERNANDES MACIEL**

(FECIV/UFU), membro titular externo; **Professor Doutor HEBER MARTINS DE PAULA (PPGEC/UFCAT)**, membro titular interno e do coorientador **Professor Doutor CAIO FREDERICO E SILVA (FAU/UNB)**. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Dissertação, tendo sido o candidato **Aprovado** pelos seus membros. Proclamados os resultados pelo Professor Doutor Ed Carlo Rosa Paiva, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora, aos vinte e sete dias do mês de setembro de dois mil e vinte e dois.

RECOMENDAÇÕES DA BANCA A SEREM CONSIDERADAS PARA A APROVAÇÃO DO TRABALHO FINAL (DISSERTAÇÃO):

O trabalho final deverá contemplar todas as recomendações escritas, bem como aquelas mencionadas durante a defesa.

Ressalta-se a necessidade de fazer uma revisão mais consistente e coerente com o objetivo do trabalho;

Melhorar a apresentação e discussão dos resultados obtidos e fazer uma conclusão de acordo com os objetivos pré-estabelecidos.

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA



Documento assinado eletronicamente por **Ed Carlo Rosa Paiva, Professor do Magistério Superior**, em 28/09/2022, às 16:30, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Heber Martins De Paula, Professor do Magistério Superior**, em 29/09/2022, às 08:36, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ana Carolina Fernandes Maciel, Usuário Externo**, em 29/09/2022, às 17:22, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Caio Frederico e Silva, Usuário Externo**, em 16/03/2023, às 15:09, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3191783** e o código CRC **57E149C5**.

Referência: Processo nº 23070.050715/2022-07

SEI nº 3191783

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador(a).

Rogério Santanna dos Santos

Graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul em 1984 e em Engenharia Civil pela IESPLAN-DF em 2017. Tem Mestrado em Engenharia de Sistemas e Computação pela Universidade Federal do Rio de Janeiro em 2013. É especialista em Engenharia de Software pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul e em Gestão Empresarial pela mesma universidade. Tem curso de especialização em Marketing - Práticas Avançadas pela FGV.

Dedico este trabalho a minha mãe Marina, pelo exemplo de coragem e perseverança, e que, com firmeza e carinho, ensinou-me o valor da honestidade e o caminho da justiça, ao meu irmão Yuri que, além de um grande amigo e incentivador incansável, sempre pude contar nas horas mais difíceis de minha vida e por fim, aos meus filhos Taís, Rafael e João Pedro, razões primeiras desta caminhada.

Agradecimentos

Os agradecimentos principais são direcionados ao professor Dr Ed Carlo Rosa Paiva, meu orientador, sempre incansável, que ajudou-me com seus sensatos e lúcidos conselhos, ao professor Dr Caio Frederico da Silva que acolheu-me na FAU da UnB como se seu aluno fosse, ao professor Msc Adriano Felipe Oliveira Lopes que pacientemente ajudou-me com seu prestimoso suporte nas tão necessárias simulações computacionais, a minha amiga e professora Dr^a Edith Beatriz Camano que gentilmente revisou este trabalho e a todos aqueles que contribuíram para que a produção desta dissertação acadêmica tivesse êxito.

Agradecimentos especiais são direcionados à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UNB ¹ da Universidade de Brasília (FAU), ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Catalão ², ao Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (labEEE) da Universidade Federal de Santa Catarina ³ e à pesquisadora e doutoranda Msc Letícia Gabriela Eli.

Por fim, agradeço ao Bel. Carlos Alberto Alves Pereira, que gentilmente cedeu sua casa para ser analisada e a todos os meus professores que com seus ensinamentos e orientações contribuíram para tornar possível esse trabalho.

¹<http://www.fau.unb.br>

²<https://ppgec.catalao.ufg.br>

³<https://labeee.ufsc.br>

O que sabemos é uma gota; o que ignoramos é um oceano.

Isaac Newton,
cientista, físico e matemático Inglês.

Resumo

dos Santos, Rogério. **Avaliação do desempenho térmico de habitação residencial unifamiliar construída com painéis monolíticos de espuma termo-plástica rígida de poliestireno expandido**. Catalão, 2023. Op. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Catalão.

Em meio a crises de escassez hídrica e aumento dos custos de energia elétrica residencial, é essencial buscar métodos construtivos mais eficientes do ponto de vista termo energético para melhorar o desempenho térmico das habitações. Nesse sentido, esta pesquisa avaliou o desempenho térmico de uma edificação residencial construída com painéis monolíticos de EPS recobertos por malhas de aço e argamassa em diferentes Zonas Bioclimáticas Brasileiras, de acordo com a norma ABNT NBR 15.575:2021. Por meio de simulações computacionais com o Open Studio V 3.1.1 e Energy Plus R 9.4, os resultados mostraram que as construções em painéis monolíticos de EPS atingiram todos os requisitos e critérios estabelecidos pela norma para o nível superior de desempenho térmico em todas as oito Zonas Bioclimáticas Brasileiras, gerando edificações mais eficientes, econômicas e sustentáveis. O estudo analisou a economia de eletricidade em diferentes cidades considerando a tarifa média na faixa vermelha 1. Curitiba teve a maior economia, seguida por outras cidades com reduções menores. Estratégias de eficiência energética podem gerar economia e redução de custos em regiões com tarifas mais elevadas.

Palavras-chave

Painéis monolíticos de EPS, desempenho térmico, painéis de poliestireno expandido, simulação computacional, NBR15575:2021.

Abstract

dos Santos, Rogério. **Evaluation of the thermal performance of single-family residential housing built with monolithic panels of expanded polystyrene rigid thermoplastic foam.** Catalão, 2023. 0p. MSc. Dissertation. Faculdade de Engenharia, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Catalão.

In the midst of water scarcity crises and rising residential electricity costs, it is essential to seek more efficient construction methods from a thermo-energy point of view to improve the thermal performance of housing. In this sense, this research evaluated the thermal performance of a residential building built with monolithic EPS panels covered by steel mesh and mortar in different Brazilian Bioclimatic Zones, according to the ABNT NBR 15.575:2021 standard. Through computer simulations with Open Studio V 3.1.1 and Energy Plus R 9.4, the results showed that constructions in monolithic EPS panels achieved all the requirements and criteria established by the standard for the superior level of thermal performance in all eight Brazilian Bioclimatic Zones, generating more efficient, economical and sustainable buildings. The study analyzed electricity savings in different cities considering the average tariff in the red band 1. Curitiba had the highest savings, followed by other cities with smaller reductions. Energy efficiency strategies can generate savings and cost reduction in regions with higher tariffs.

Keywords

Monolithic EPS panels, thermal performance, expanded polystyrene panels, computational simulation, NBR 15575:2021.

NOTA: Os Programas de Pós-Graduação stricto sensu em funcionamento na Universidade Federal de Catalão (UFCAT), em virtude de procedimentos técnicos relacionados à CAPES, continuam provisoriamente vinculados à Universidade Federal de Goiás (UFG), por isso, todos os elementos pré-textuais do trabalho apresentado estão identificados como Universidade Federal de Goiás/Universidade Federal de Catalão em implantação, em função da migração da BDTD ter ocorrido a partir de 16 de agosto de 2021, assim como pelo fato das pesquisas e produtos serem realizados na UFCAT.

Sumário

Lista de Figuras	xv
Lista de Tabelas	xvii
Lista de Abreviaturas e Siglas	xviii
1 Introdução	1
2 Objetivos	4
2.1 Objetivo Geral	4
2.2 Objetivos Específicos	4
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3.1 Normas mais usadas no Brasil para avaliação de desempenho térmico em edificações	5
3.1.1 ASHRAE 55	5
3.1.2 NBR 15220	6
3.1.3 NBR 15575	8
3.1.4 Regulamento técnico da qualidade para o nível de eficiência energética de edificações residenciais - RTQ-R	10
3.1.5 Selo Azul da Caixa	12
Pré requisitos do Selo:	13
3.2 Parâmetros para a avaliação de desempenho térmico de edificações	13
3.3 Métodos de avaliação do desempenho térmico	14
3.3.1 A classificação climática de Köppen-Geiger	15
4 MÉTODO	17
4.1 O método utilizado	17
4.2 Local escolhido para simulação	18
4.3 Definição dos Contextos Bioclimáticos	20
4.3.1 Zona Bioclimática 1 - Curitiba PR	21
4.3.2 Zona Bioclimática 2 - Santa Maria RS	22
4.3.3 Zona bioclimática 3 - Porto Alegre RS	23
4.3.4 Zona Bioclimática 4 - Brasília DF	24
4.3.5 Zona Bioclimática 5 - Niterói RJ	25
4.3.6 Zona Bioclimática 6 - Catalão GO	26
4.3.7 Zona Bioclimática 7 - Barreiras BA	27
4.3.8 Zona bioclimática 8 - Belém PA	28

4.4	Resumo dos diferentes climas, temperaturas e precipitações pluviométricas encontrados nas cidades escolhidas	29
4.5	Simulação Computacional	30
4.6	Modelo geométrico e parâmetros de simulação adotados	31
4.7	Método de simulação utilizado	33
5	Resultados da Simulação Computacional	35
5.1	Análise das simulações de desempenho térmico	35
5.1.1	Procedimentos de análise	35
5.1.2	Análise dos resultados obtidos nas oito zonas bioclimáticas brasileiras	35
5.1.3	Resultados das simulações nas cidades escolhidas	36
5.1.4	Gráficos dos resultados obtidos por cidade analisada	37
	Curitiba	38
	Santa Maria	39
	Porto Alegre	40
	Brasília	41
	Niterói	42
	Catalão	43
	Barreiras	44
	Belém	45
5.2	Impacto dos aumentos das tarifas e do consumo de eletricidade no Brasil	46
5.3	Análise dos resultados consolidados	48
6	Conclusão e considerações finais	51
	Referências Bibliográficas	53
A	Panta baixa	57

Lista de Figuras

1.1	Oferta Energética Interna ano base 2021	2
1.2	Consumo energético Residencial em 2021	3
3.1	Mapa das Zonas Bioclimáticas Brasileiras	7
3.2	Carta Bioclimática	8
3.3	Método de avaliação de desempenho térmico da NBR15575-3	10
3.4	Percentual mínimos de área de abertura de ventilação	11
3.5	Fases do processo de obtenção do selo azul da Caixa	13
4.1	Painel Monolítico de Espuma Termoplástica Rígida de Poliestireno Expandido	17
4.2	Bloco cerâmico de 8 furos	18
4.3	Planta baixa da edificação analisada, base para o modelo real	19
4.4	Posição da casa analisada no Condomínio Fazenda Santa Bárbara - marcada em amarelo - coordenadas 15°57'47.1"S 47°49'24.6"W	20
4.5	Foto Frontal da Casa no Condomínio Fazenda Santa Bárbara	20
4.6	Gráfico das Temperaturas de Curitiba	22
4.7	Gráfico da temperatura em Santa Maria	23
4.8	Gráfico da Temperatura em Porto Alegre	24
4.9	Gráfico da Temperatura em Brasília	25
4.10	Gráfico da Temperatura em Niterói	26
4.11	Gráfico da Temperatura em Catalão	27
4.12	Gráfico da Temperatura em Barreiras	28
4.13	Gráfico da Temperatura em Belém	29
4.14	Modelo tridimensional no Open Studio 3.1.1	31
4.15	Análise de Desempenho Térmico	34
4.16	Instruções de preenchimento da Planilha disponibilizada pelo Labee	34
5.1	Resumo detalhado dos cálculos - ZBB 1-4	37
5.2	Resumo detalhado dos cálculos - ZBB 5-8	37
5.3	Gráficos com os resultados da cidade de Curitiba - ZBB 1	38
5.4	Gráficos com os resultados da cidade de Santa Maria - ZBB 2	39
5.5	Gráficos com os resultados da ZBB 3 - cidade de Porto Alegre	40
5.6	Gráficos com os resultados da cidade de Brasília - ZBB 4	41
5.7	Gráficos com os resultados da cidade de Niterói - ZBB 5	42
5.8	Gráficos com os resultados da cidade de Catalão - ZBB 6	43
5.9	Gráficos com os resultados da cidade de Barreiras - ZBB 7	44
5.10	Gráficos com os resultados da cidade de Belém - ZBB 8	45
5.11	Evolução Anual do Consumo de Energia Elétrica no Brasil	46

5.12	Impacto da Energia Elétrica na Inflação	46
5.13	Nove regiões hidrográficas perderam superfície de água entre 1990 e 2020	47
5.14	Resultados da Simulação ZBB 1-4	48
5.15	Resultados da Simulação ZBB 5-8	48
5.16	Resumo do nível de atendimento aos critérios da NBR 15.575 nas cidades escolhidas	49

Lista de Tabelas

3.1	Tabela das equações para determinar a faixa de temperatura aceitável	6
3.2	Tabela da temperatura média operativa em função da velocidade do ar	6
3.3	Níveis de eficiência energética e seus equivalentes numéricos	11
3.4	Classificação climática de Köppen-Geiger - Grupos básicos	15
3.5	Classificação climática de Köppen-Geiger - Subgrupo Precipitação	15
3.6	Classificação climática de Köppen-Geiger -Subgrupo Clima	16
4.1	Cidades Escolhidas	21
4.2	Cidades, seus climas, temperatura média e precipitação pluviométrica anual	30
4.3	Propriedades características do caso real	32
4.4	Propriedades características do caso de referência	32
5.1	Temperatura de bulbo seco média compensada anual obtida no portal do INMET	36
5.2	Valores anuais economizados com eletricidade na edificação real construída com painéis monolíticos de EPS	49

Lista de Abreviaturas e Siglas

Sigla	Descrição
ABNT	Associação brasileira de Normas Técnicas
ANEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
APP	Ambiente de Permanência Prolongada
APT	Ambiente de Permanência Temporária
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
BEN	Balanco Energético Nacional
CgTA	Carga térmica de aquecimento
CgTR	Carga térmica de resfriamento
CgTT	Carga térmica Total
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EPS	Poliestireno expansível
EPW	EnergyPlus Weather File Format
MME	Ministério de Minas e Energia
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
PIB	Produto Interno Bruto
PHFT	Percentual de horas de ocupação dentro de uma faixa de temperatura operativa
Mtep	Milhões de Tep
labEEE	Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
Projetee	Projetando Edificações Energeticamente Eficientes
RTQ	Regulamentos Técnicos da Qualidade DO INMETRO
RTQ-C	RTQ do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos
RTQ-R	RTQ para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais
Tep	Tonelada Equivalente de Petróleo
TBSm	Média anual da Temperatura de Bulbo Seco
To	Temperatura Operativa
Tomax	Temperatura Operativa Máxima
Tomin	Temperatura Operativa Mínima

Sigla	Descrição
TWh	Tera Watts hora
UH	Unidade Habitacional
ZBB	Zona Bioclimática Brasileira

Introdução

A espuma termoplástica rígida de poliestireno expandida (EPS) é um comprovado material isolante térmico e amplamente utilizado em muitos países. Vem sendo muito utilizada em diversos tipos de aplicação que vão desde embalagens isolantes térmicas até o isolamento de paredes em câmaras frias.

Os painéis monolíticos autoportantes de concreto com um núcleo de EPS foram desenvolvidos na Itália, em uma região sujeita a terremotos em meados dos anos 80, pelo Grupo Isorecort ([EPSBRASIL 2022](#)), por serem leves e capazes de resistir aos tremores de terra, além de sua grande capacidade de isolamento térmico. São compostos por um núcleo de EPS, envolto por malhas metálicas unidas entre si por barras de aço e camadas interna e externa de revestimento argamassado acrescido de fibras de polipropileno.

Esse material vem ganhando espaço no Brasil e no mundo na construção de edificações, não somente devido suas capacidades isolantes, mas também por sua leveza, resistência, facilidade de trabalhar e baixo custo. Sendo um material plástico em forma de espuma com micro células fechadas de ar, é inodoro, leve, durável, reciclável, não poluente, estável fisicamente, resistente, fácil de cortar e resistente à propagação do fogo (na classe F). Caracteriza-se por ser um material eficiente para o preenchimento de vazios em vários processos construtivos principalmente em lajes e painéis semi-industrializados.

Busca-se, ao construir uma edificação residencial, assegurar desempenho térmico satisfatório que proporcione conforto a seus habitantes, seja por meio de equipamento de condicionamento do ar, ou obtida de forma natural através de trocas de calor passivas para aquecimento ou resfriamento com controle da ventilação natural.

Quanto maior for a inércia térmica das paredes envoltórias da edificação menor será o gasto energético para manter a temperatura em intervalos que proporcionem conforto térmico aceitáveis a seus ocupantes, tanto para aquecer internamente o ambiente em dias frios ou para resfriá-lo nos dias quentes ([Inércia Térmica para Aquecimento - ProjetEEE 2023](#)).

O adequado desempenho térmico de uma edificação repercute no conforto de seus ocupantes, em condições adequadas para o sono, nas atividades cotidianas em uma habitação e contribui para reduzir o consumo de energia tornando-a mais sustentável. De-

terminar a real eficiência energética das edificações construídas com painéis monolíticos é fundamental.

O Balanço Energético Nacional (BEN) do ano de 2022 ([EPE-MME 2022](#)) é um relatório anual produzido pela Empresa de Pesquisa Energética do Ministério de Minas e Energia do Brasil e objetiva contabilizar a oferta e o consumo energético no Brasil, contemplando as atividades de extração dos recursos energéticos primários, sua conversão em forma secundária, importação, exportação, a distribuição e o uso final da energia.

Segundo o BEN 2022, a oferta energética interna total disponibilizada atingiu 679,5 Mtep (Mega Tonelada Equivalente de Petróleo), como mostrada na Figura 1.1, registrando um aumento de 3,9% em relação ao ano anterior, próximo ao crescimento do PIB ([EPE-MME 2022](#)).

Devido à escassez hídrica, houve uma redução na participação das energias renováveis de 3,8%, marcada pela queda na produção de energia hidroelétrica. No caso da energia elétrica verificou-se um aumento de 0,4% em relação ao ano de 2020. A geração hidroelétrica reduziu 8,4% em contrapartida a energia eólica cresceu 26,7%.

Figura 1.1: Oferta Energética Interna ano base 2021

Valores em TWh		2020	2021	Δ 21/20
Oferta interna de E. Elétrica ¹	⬆	653,5	679,2	3,9%
Centrais elétricas SP ²	⬆	514,8	542,1	5,3%
Centrais elétricas APE ³	↔	114,0	114,0	0,0%
Importação de eletricidade ⁴	⬇	24,7	23,1	-6,5%
Consumo final ⁵	⬆	547,7	570,8	4,2%
Perdas (comerciais + técnicas)	⬇	16,2%	16,0%	-0,2 p.p

Fonte: EPE,2022

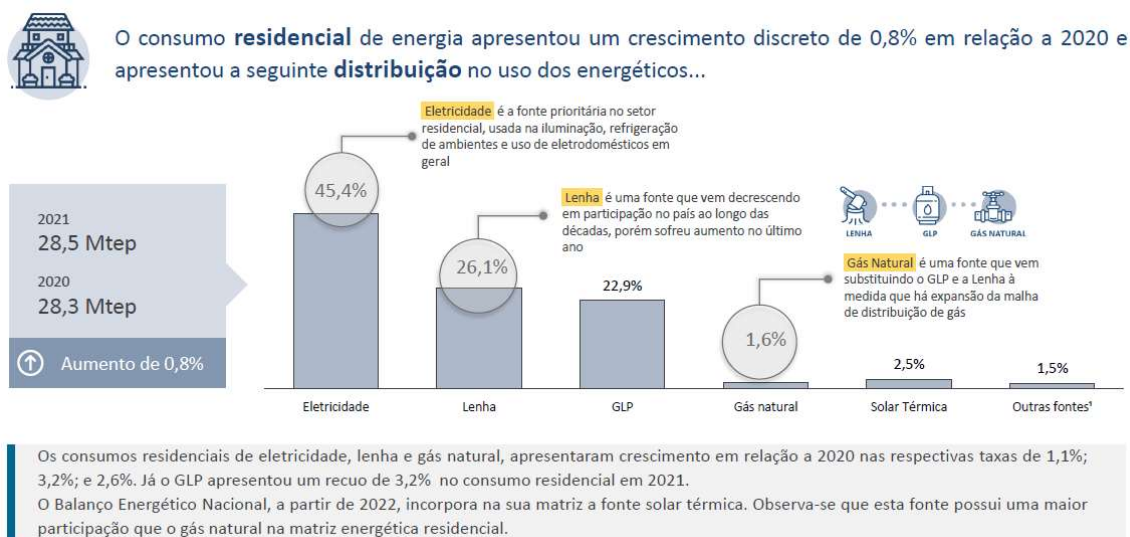
No setor residencial houve um discreto aumento no consumo energético de 0,8% em relação ao ano de 2020. Com base na análise do BEN2022 (ano base 2021), pode-se verificar uma tendência de crescimento do consumo energético nas residências mostrado na Figura 1.2, notadamente o de eletricidade, demonstrando que a melhoria do desempenho térmico das edificações contribuirá para mitigar esse consumo. Estima-se que o consumo de condicionadores de ar varia de um mínimo de 2,18 % na região Sudeste até 11,82 % na região Norte e de ventiladores de 0,82% na região Sul até 12,50 % dos gasto energético residencial anual para manter a edificação em uma zona de conforto térmico aceitável para seus ocupantes de acordo com as estimativas de usos finais da energia elétrica no setor residencial brasileiro proposta por ([TEIXEIRA 2020](#)).

Cabe enfatizar que se torna mais relevante, diante do quadro de escassez hídrica, que afeta a capacidade de geração de energia elétrica proveniente de fontes renováveis de

mais baixo impacto ambiental.

Nesse cenário de consumo de eletricidade crescente e com custos tarifários elevados pelo uso de fontes não renováveis, estudar a viabilidade de materiais de construção com melhor desempenho térmico pode significar edificações mais sustentáveis e econômicas para seus usuários.

Figura 1.2: Consumo energético Residencial em 2021



Fonte: BEN2022-EPE - Ministério das Minas e Energia

Objetivos

2.1 Objetivo Geral

Avaliar o desempenho térmico de uma edificação térrea residencial unifamiliar construída com painéis monolíticos de EPS, nas diferentes Zonas Bioclimáticas Brasileiras (ZBB).

2.2 Objetivos Específicos

1. Avaliar o desempenho térmico de uma edificação residencial térrea unifamiliar construída em Brasília, na ZBB quatro, por meio de modelagem computacional.
2. Avaliar o desempenho térmico de uma edificação hipotética com a mesma volumetria, materiais construtivos e orientação geoespacial, nas demais sete Zonas Bioclimáticas Brasileiras.
3. Avaliar o nível de atendimento dos padrões de desempenho térmico à luz das normas ABNT 15.220 ([ABNT 2022](#)) e NBR 15.575 ([ABNT 2021](#)).

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Normas mais usadas no Brasil para avaliação de desempenho térmico em edificações

3.1.1 ASHRAE 55

Entre as normas mais usadas internacionalmente destaca-se a norma estadunidense ([ASHRAE55 2017](#)) - *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy* norma inspiradora de muitas outras em diversos países.

Esta propõe um modelo adaptativo para determinar a aceitabilidade das condições térmicas desde que sejam atendidos os seguintes pressupostos:

- Espaços controlados naturalmente pelos ocupantes do ambiente;
- Ausência de sistemas de condicionamento de ar artificial;
- Os ocupantes devem ter um metabolismo dentro de uma faixa pré-estabelecida;
- os ocupantes devem poder adaptar suas roupas livremente;
- A temperatura média do ambiente externo deve ser maior que 10°C e menor que 33,5°C.

O que determina a aceitabilidade do ambiente é a sua temperatura operativa estar dentro do intervalo estabelecido pelas equações apresentadas na Tabela [3.1](#).

Ainda deve admitir aumento do limite da temperatura operativa aceitável se ocorrer aumento na velocidade do ar de acordo com a Tabela [3.2](#).

No Brasil vigoram duas normas referentes ao desempenho térmico de edificações as NBR 15220 ([ABNT 2005](#)) e NBR 15575 ([ABNT 2021](#)).

Tabela 3.1: Tabela das equações para determinar a faixa de temperatura aceitável

Equações para determinar a faixa de temperatura aceitável	
Limites de aceitabilidade de 80% (°C)	
Inferior	Superior
$t_{ext} + 14,3$	$t_{ext} + 21,3$

Fonte: ASHRAE 55, 2017

Tabela 3.2: Tabela da temperatura média operativa em função da velocidade do ar

Temperatura média operativa em função da velocidade média do ar		
Velocidade média do ar 0,6 m/s	Velocidade média do ar 0,9 m/s	Velocidade média do ar 1,2 m/s
1,2 °C	1,8 °C	2,2 °C

Fonte: ASHRAE 55, 2017

3.1.2 NBR 15220

A norma pioneira de desempenho térmico para edificações foi a NBR 15220 que estabeleceu parâmetros e critérios adequados a situação climatológica brasileira, inicialmente restrita a habitações residenciais de interesse social. Definindo o método de cálculo e medição das propriedades térmicas dos materiais construtivos de edificações sob o título geral de "*Desempenho térmico de edificações*" e é dividida em cinco partes:

- **Parte 1: Definições, símbolos e unidades**

Nesta parte a norma estabelece as definições, os correspondentes símbolos e as unidades de termos relacionados com o desempenho térmico.

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

Aqui são embelecidos os procedimentos para o cálculo das propriedades térmicas - resistência, transmitância e capacidade térmica, atraso térmico, e fator de calor solar de elementos e componentes construtivos.

- **Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e diretrizes construtivas para habitações de interesse social**

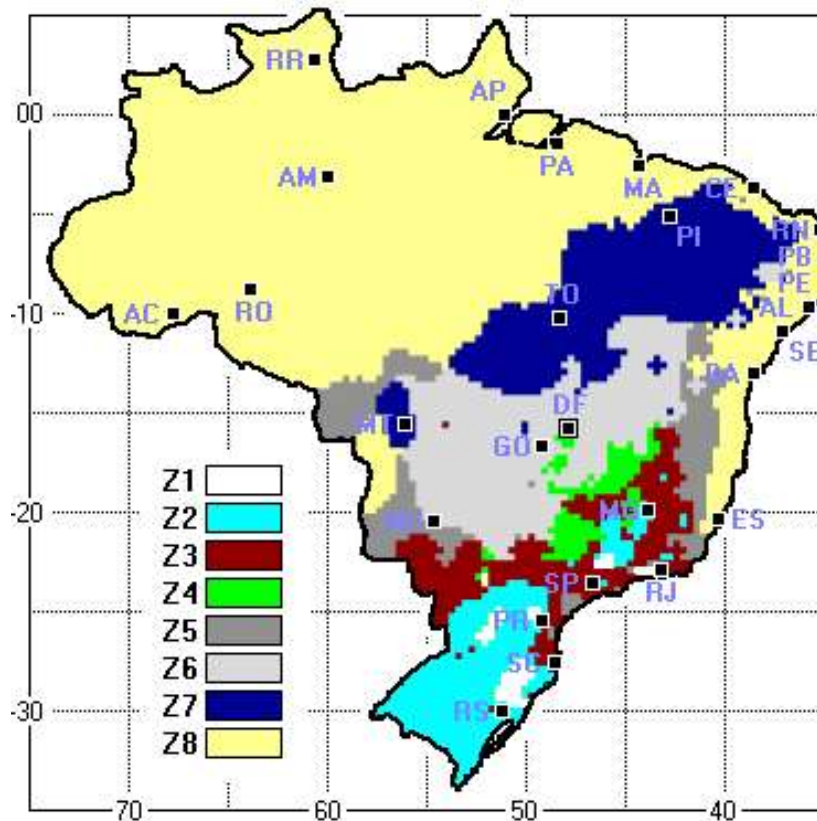
Nesta parte da norma são apresentadas as recomendações quanto ao desempenho térmico de edificação habitacional unifamiliar de interesse social aplicáveis a fase de projeto.

Também estabelece o **Zoneamento Bioclimático Brasileiro** e faz recomendações de diretrizes construtivas e detalhamento de estratégias de condicionamento térmico passivos com base nas condições estabelecidas em cada condição de contorno.

Propõe a divisão do território brasileiro em oito zonas relativamente homogêneas

quanto ao clima e para cada uma destas zonas, faz um conjunto de recomendações técnico-construtivas que otimizam o desempenho térmico das edificações através de uma melhor adequação climática, conforme o mostrado na Figura 3.1.

Figura 3.1: Mapa das Zonas Bioclimáticas Brasileiras



Fonte: NBR 15220-3, 2005

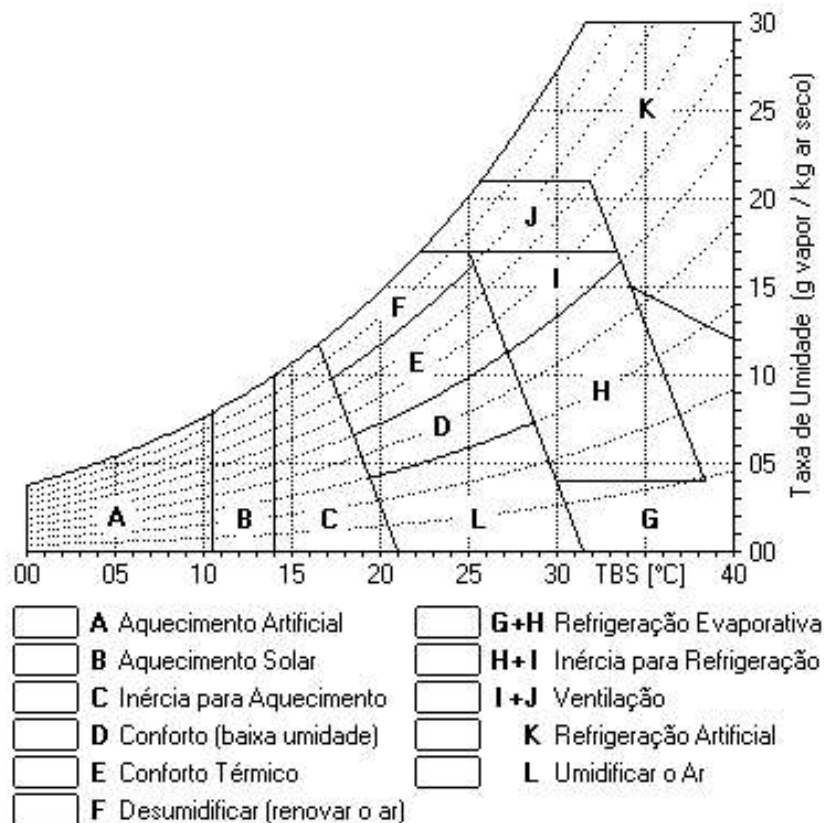
Adaptou-se uma *Carta Bioclimática* sugerida por Givoni (GIVONI 1998) detalhada na Figura 3.2.

Esta norma trata de procedimentos simplificados para aferição de diversas propriedades térmicas, tais como, a transmitância térmica, o atraso térmico, a capacidade térmica, o fator solar usados para avaliação de desempenho térmico de edificações, os quais podem ser elaborados por meio de cálculos, de medições "in loco" ou de simulações computacionais.

As diretrizes desta norma se aplicam a recomendações e diretrizes construtivas, sem caráter normativo, para adequação climática de habitações unifamiliares de interesse social, com até três pavimentos.

- **Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida**

Figura 3.2: Carta Bioclimática



Fonte: ABNT NBR 15220

A parte 4 estabelece o método absoluto para determinação em regime permanente da resistência térmica e da condutividade térmica de materiais sólidos e granulados usando-se a aparelhagem denominada placa quente protegida.

- **Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluxométrico**

Esta parte estabelece o método de utilização de técnicas fluxométricas para medir a resistência térmica em regime estacionário através de corpos de prova na forma de placas planas podendo-se deduzir por cálculos a condutividade térmica.

3.1.3 NBR 15575

Em 2008 foi publicada a primeira versão da norma 15575-1 (ABNT 2013) que entrou em vigor depois de ampla discussão em maio de 2012. Ela estabeleceu os requisitos mínimos de desempenho, vida útil e garantias que envolvem uma edificação. A versão final foi publicada em fevereiro de 2013 e entrou em vigor em julho desse ano.

O trabalho de (SORGATO et al. 2014) mostrou que a metodologia proposta até então pela referida norma, baseada na análise dos dias típicos de verão e inverno, podia apresentar resultados discrepantes, dependendo de como esse parâmetro era configurado. A norma recomendava que fossem avaliados um dia típico de verão, sem carga térmica, o mesmo ocorria com um dia típico de inverno, condições estas não realistas, como ficou demonstrado por Sorgato nesse artigo.

A norma brasileira NBR 15.575 (ABNT 2021) em seu capítulo 11º estabeleceu as características que uma edificação habitacional deve atender para que seja atingido um desempenho mínimo satisfatório considerando a zona bioclimática definida pela norma NBR 15220-3 (ABNT 2005).

O desempenho térmico de uma habitação depende das características de seus componentes (paredes e cobertura), das cargas térmicas internas (pessoas, iluminação e equipamentos), das áreas envidraçadas e de ventilação, da maneira de como se opera as aberturas e do clima da cidade.

O Brasil, devido a sua vasta extensão territorial, tem variados climas e as estratégias bioclimáticas mais adequadas dependem da zona bioclimática e podem permitir que habitação não dependa de equipamento de condicionamento de ar artificial.

A parte 3 da NBR15575 se propõe a avaliar o desempenho térmico da habitação, quando operada sem condicionamento de ar, bem como possibilita a análise da carga térmica quando condicionada artificialmente.

A norma estabelece que o desempenho térmico das unidades habitacionais deve ser caracterizado em três níveis de desempenho: mínimo(M), intermediário(I) e superior(S). É obrigatório atingir os requisitos e critérios estabelecidos para o nível mínimo. O atendimento dos demais níveis é opcional.

Considera que a avaliação do desempenho térmico deva ser realizada nos Ambientes de Permanência Prolongada (APP) da Unidade Habitacional(UH). A norma apresenta os procedimentos normativos para avaliação de desempenho térmico de duas formas, simplificado e simulação computacional.

1. Procedimento simplificado

Avalia o desempenho térmico da UH comparando as características geométricas da APP e as propriedades térmicas dos sistemas construtivos em relação aos valores de referência desses parâmetros. A partir deste procedimento simplificado é possível obter o nível mínimo obrigatório.

2. Procedimento de simulação computacional

Avalia o desempenho térmico anual da envoltória da edificação em relação a essa envoltória com as características de referência através do desenvolvimento de modelo computacional em programa compatível (item 11.4.1) e deve estimar

as variações da temperatura operativa, as cargas térmicas de refrigeração e de aquecimento e do uso de ventilação natural na UH definidos ao longo das 8760 h anuais considerando a variação horária de ocupação, potência de iluminação e de equipamentos.

A Figura 3.3 mostra esquematicamente estes procedimentos.

Figura 3.3: Método de avaliação de desempenho térmico da NBR15575-3



Fonte: Labeee, 2022

3.1.4 Regulamento técnico da qualidade para o nível de eficiência energética de edificações residenciais - RTQ-R

Estabelecido pela portaria do INMETRO nº 18 de 16 de janeiro de 2012 o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética Edificações Residenciais (RTQ-R) especifica os requisitos técnicos e os métodos para a classificação de edificações residenciais quanto a eficiência energética.

Visa criar condições para a etiquetagem do nível de eficiência energética de edificações residenciais unifamiliares e multifamiliares, bem como estabelecer os procedimentos para sua adequada determinação.

As edificações submetidas a este regulamento Técnico de Qualidade devem atender as normas da ABNT vigentes e aplicáveis.

A etiquetagem de eficiência energética classifica em cinco níveis de eficiência conforme a Tabela 3.3 e estabelece procedimentos específicos para cada tipo de edificação analisada.

A análise leva em conta os pré-requisitos da envoltória e são avaliados separadamente:

Tabela 3.3: Níveis de eficiência energética e seus equivalentes numéricos

Equivalente numérico para cada nível de eficiência energética	
Nível de eficiência	Equivalente Numérico
A	5
B	4
C	3
D	2
E	1

Fonte INMETRO RTQ-R 2012

1. Transferência térmica e absorção solar das superfícies para cada uma das oito Zonas Bioclimáticas Brasileiras conforme definidas na NBR 15220-3, tanto para as paredes como para cobertura.
2. Ventilação Natural – Os ambientes de permanência prolongada (APP) devem possuir um percentual de áreas mínimas de abertura para ventilação conforme a Figura 3.4. O percentual de abertura é calculado em relação a área útil dos ambientes.

Figura 3.4: Percentual mínimos de área de abertura de ventilação

Tabela 3.2: Percentual de áreas mínimas para ventilação em relação à área útil do ambiente (Fonte: adaptado de NBR 15575-4)

Ambiente	Percentual de abertura para ventilação em relação à área de piso (A)		
	ZB 1 a 6	ZB 7	ZB 8
Ambientes de permanência prolongada	A ≥ 8%	A ≥ 5%	A ≥ 10%

Nota: Nas ZB 1 a 7 e nas cidades que possuam médias mensais das temperaturas mínimas abaixo de 20°C, as aberturas para ventilação devem ser passíveis de fechamento durante o período de frio (excetuam-se as áreas de ventilação de segurança como as relativas às instalações de gás).

Fonte:RTQ-R 2012

3. Ventilação cruzada – recomenda a adoção de ventilação cruzada proporcionado pelo sistemas de aberturas externas e internas nas Zonas Bioclimáticas de 2 a 8 e estabelece os procedimentos de cálculo.
4. Iluminação natural – O Acesso a iluminação natural em ambientes de permanência prolongada deve ser garantido por uma ou mais aberturas para o exterior. A soma das áreas de abertura para iluminação natural deve corresponder a um percentual mínimo da área útil do ambiente de acordo com a ZBB da edificação. O não atendimento deste requisito implica em no máximo o nível C nos equivalentes numéricos da envoltória.

Procedimentos para determinação de eficiência energética da envoltória – "Método Prescritivo"

O desempenho térmico da envoltória da unidade habitacional é determinado por um equivalente numérico estabelecido que consiste em uma série de parâmetros predefinidos ou a calcular que indicam a eficiência do sistema para as unidades habitacionais autônomas de acordo com a Zona Bioclimática onde está localizada a edificação.

3.1.5 Selo Azul da Caixa

O Selo Azul da Caixa ([CAIXA 2022](#)) é o primeiro sistema de classificação da sustentabilidade de projetos de construção habitacional ofertado no Brasil.

Sua metodologia foi desenvolvida pela equipe técnica da Caixa e por um grupo multidisciplinar composto por renomadas universidades brasileiras. De acordo com a Caixa trata-se de uma metodologia de avaliação socioambiental de projetos de empreendimentos habitacionais aplicável a todos os tipos de projetos de empreendimentos habitacionais propostos à Caixa Econômica Federal.

Criado em 2009, o selo foi idealizado para servir de sistema de classificação de índice de sustentabilidade de projetos habitacionais desenvolvido para a realidade da construção habitacional brasileira. Por meio dele, é possível reconhecer e incentivar a adoção de soluções urbanísticas e arquitetônicas de qualidade, assim como o uso racional dos recursos naturais na produção de empreendimentos a serem executados no âmbito dos programas operacionalizados pela instituição financeira.

Dez anos depois de sua criação, a Caixa verificou a necessidade de renovar as diretrizes do Selo para adequar as atualizações normativas, incorporar as inovações promovidas na construção civil, ajustando-as aos novos cenários urbanos, econômicos e sociais. Foram estabelecidas quatro classificações, 15 critérios obrigatórios e novos identificadores. Os níveis são:

- Bronze (50 pontos ou dois identificadores),
- Prata (60 pontos ou três identificadores),
- Ouro (80 pontos ou 4 identificadores) e
- Diamante (100 pontos e obrigatoriamente o identificador Inovação).

É possível a obtenção de identificadores mais específicos para cada área de desenvolvimento sustentável.

Os identificadores para avaliação do Selo Casa Azul + Caixa são:

- Qualidade Urbana,

- Eficiência Energética,
- Gestão Eficiente da Água,
- Produção Sustentável,
- Desenvolvimento Social e Inovação.

Pré requisitos do Selo:

Os empreendimentos candidatos ao Selo Casa Azul + CAIXA devem atender:

- Regras dos programas e linhas de financiamento da CAIXA.
- Norma de Desempenho NBR 15.575.
- Diretrizes SINAT, nos casos de sistemas inovadores.
- Política Socioambiental FGTS, se for o caso
- Código de Práticas CAIXA.

Podem apresentar projetos para obtenção do Selo Casa Azul + CAIXA, construtoras, incorporadoras, poder público local, empresas públicas de habitação, cooperativas, associações e entidades organizadoras sem fins lucrativos, sendo aplicável a qualquer projeto de produção de empreendimentos habitacionais, nas linhas de financiamento da CAIXA. As fase do processo são mostrada no fluxograma da Figura 3.5. Fases do Selo Azul

Figura 3.5: Fases do processo de obtenção do selo azul da Caixa



Fonte: Selo Azul da Caixa Econômica Federal, 2021

3.2 Parâmetros para a avaliação de desempenho térmico de edificações

As pesquisas de (DANIEL et al. 2017) apontam o conforto térmico como o mais adequado indicador para avaliar o desempenho térmico das edificações, pois o

comportamento e as preferências dos usuários são fatores relevantes no processo de avaliação.

Nas avaliações que consideram o conforto térmico como parâmetro de desempenho a variável a ser considerada como parâmetro para avaliação é a temperatura operativa, mediante limites aceitáveis de conforto térmico como é o caso (ASHRAE55 2017).

O conceito graus-horas é utilizado para avaliar o desempenho de edificações naturalmente ventiladas visando identificar o número de horas em que os ocupantes sentem desconforto térmico.

As pesquisas de (SORGATO et al. 2012) e (TORRES 2015) mostram como é possível avaliar o desconforto ao longo do tempo.

Também se usa como parâmetro o grau-médio que permite identificar o quanto as temperaturas estão acima ou abaixo dos limites considerados satisfatórios de conforto térmico.

No artigo Comparação do desempenho térmico de três ambientes residenciais naturalmente ventilados em Florianópolis, sul do Brasil (LAMBERTS e PAPST 2002) afirmam que não basta apenas avaliar o quantitativo de horas que a temperatura excede os limites de conforto, isso não demonstra o quanto em média essa temperatura está excedente.

3.3 Métodos de avaliação do desempenho térmico

São três as maneiras de avaliar o desempenho térmico de uma edificação: o monitoramento *in loco*, a simulação computacional e a combinação dos dois métodos.

O monitoramento permite uma avaliação mais efetiva da verdadeira condição da edificação construída e também ajuda a verificar a confiabilidade dos modelos de simulações computacionais adotados.

A simulação pode ajudar a melhorar o projeto, antes mesmo dele ser construído, identificando oportunidades de melhoria. Possibilita ainda uma análise de sensibilidade do modelo ao permitir variar apenas um parâmetro de cada vez e verificar a magnitude de sua influência no resultado final (BARBOSA K. H.; GUISI 2017).

A junção do monitoramento com a simulação através da calibração ajuda a melhorar os resultados obtidos na simulação através de um ajuste mais fino.

Em um processo de calibração existem duas fontes de erro possíveis como identificaram (ROYAPOOR e ROSKILLY 2015).

Uma delas tem a ver com a variabilidade dos dados reais coletados e a segunda está atrelada aos erros provenientes do modelo de simulação.

Os erros de medição estão relacionados aos equipamentos de usados para medições e podem ser determinados por meio de aferição e calibração.

O comportamento dos ocupantes, que interagem com o ambiente construído da edificação também é uma fonte de incerteza (WIT e AUGENBROE 2002).

3.3.1 A classificação climática de Köppen-Geiger

A classificação climática de Köppen-Geiger é baseada no tipo de vegetação que naturalmente ocorre nas diferentes regiões da Terra (World Maps of Köppen-Geiger climate classification 2019). Outros elementos, com características sazonais, como temperatura e precipitação pluvial, são agregados a seguir, formando cinco grupos básicos de clima, identificados pelas letras maiúsculas A, B, C, D, E. Os climas representados pelas letras maiúsculas A, C, D e E são para regiões úmidas e a letra maiúscula B é reservada para regiões desérticas, conforme Tabela 3.4.

Tabela 3.4: Classificação climática de Köppen-Geiger - Grupos básicos

Grupo	Clima	Descrição	Min °C	Max °C	Precip. Anual mm
A	Tropical chuvoso	Megatérmico	18° C		> 700
B	Árido	Clima seco			<500
C	Temperado	Mesotérmico	-3°C < 18°C	> 10°C	
D	Continental	Microtérmico	-3°C <	> 10°C	
E	Glacial	Polares e altas montanhas		< 10°C	

Fonte: AYOADE 1996

Além da primeira letra que classifica os grupos básicos do clima, tem-se dentro deste grupos tem-se subgrupos determinados pela segunda e terceira letras que vão determinar a precipitação e a temperatura desses climas, Tabelas 3.5 e 3.6.

Tabela 3.5: Classificação climática de Köppen-Geiger - Subgrupo Precipitação

Letra	Grupos	Clima	Precip. mm
f	A, C e D	Equatorial	
m	A	Monção	1500
s	A, C e D	verão seco	
S	B	Estepes	380 a 760
w	A, C e D	Inverno Seco	
W	B	Desértico	< 250

Fonte: AYOADE 1996

Tabela 3.6: Classificação climática de Köppen-Geiger -Subgrupo Clima

Letra	Grupos	Clima
a	C e D	Verão quente
b	C e D	Verão fresco
c	C e D	Verão frio
d	D	Inverno muito frio
F	E	Glacial - mês mais quente < 0°C
h	B	Seco e quente
k	B	Frio e quente
M	E	Precipitação abundante, invernos pouco rigorosos
T	B	Tundra - mês mais quente entre 0°C e 10°C

Fonte: AYOADE 1996

MÉTODO

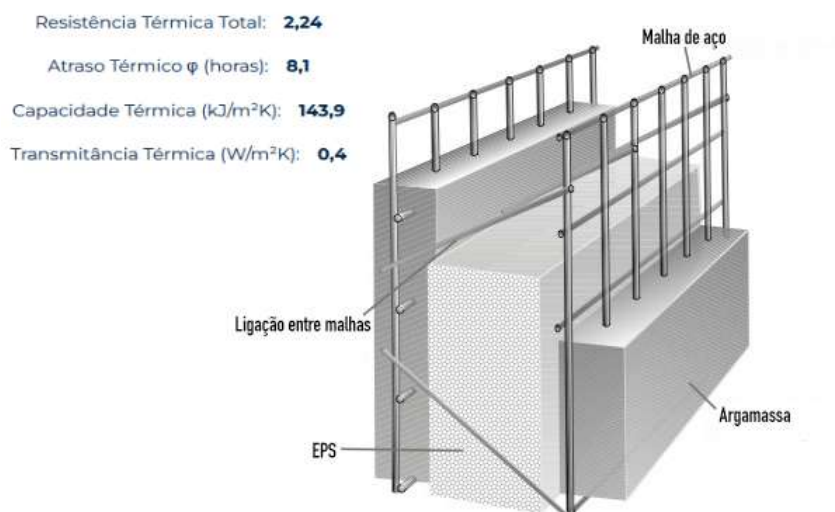
4.1 O método utilizado

O método utilizado foi a avaliação do desempenho térmico de uma edificação habitacional residencial de 295 m² por meio de simulação computacional, fazendo a comparação de dois modelos, um real e outro de referência, conforme estabelece a NBR 15575-1 para o modelo simplificado de simulação computacional.

Utilizou-se *software* livre *Open Studio* versão 3.1.1 (OPENSTUDIO 2022) que implementa o motor do *Energy Plus* versão 9.4 (ENERGYPLUS 2022) cujo algoritmo é bastante testado e confiável. Para isso foi usado o *plug-in* do *Open Studio* (OPENSTUDIOCOALITION 2022) para o *Sketup 2020* (SKETUP PRO 2022).

A edificação que serviu de modelo real foi construída com painéis monolíticos de espuma termoplástica rígida de poliestireno expandido (EPS) recoberto por malhas de aço eletro soldadas e com revestimento argamassado nas duas faces (interna e externa) conforme mostrado na Figura 4.1.

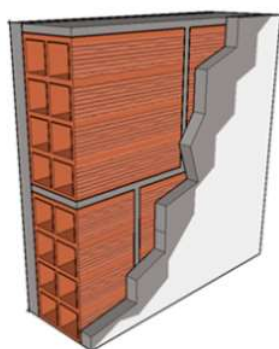
Figura 4.1: Painel Monolítico de Espuma Termoplástica Rígida de Poliestireno Expandido



Fonte: Isorecort e Projeteer, 2021

O modelo real implementa as soluções construtivas adotadas no projeto construído. O modelo de referência utiliza da mesma volumetria da edificação real, porém com algumas características padronizadas, que determinam o desempenho de referência, prescritas nas normas brasileira ABNT NBR 15.575 (ABNT 2021) e NBR 15.220 (ABNT 2005). Esse modelo utiliza a alvenaria apresentados na Figura 4.2 convencionalmente utilizados no Brasil.

Figura 4.2: Bloco cerâmico de 8 furos



Paredes
Argamassa interna 2.5 cm | Bloco cerâmico 12x19x19 cm | Argamassa externa 2.5 cm

Resistência
0.47 m²K/W

Transmitância
2.13 W/m².K

Atraso Térmico
3.7 h

Capacidade Térmica
155 kJ/m².K

Fonte: Projetee, 2021

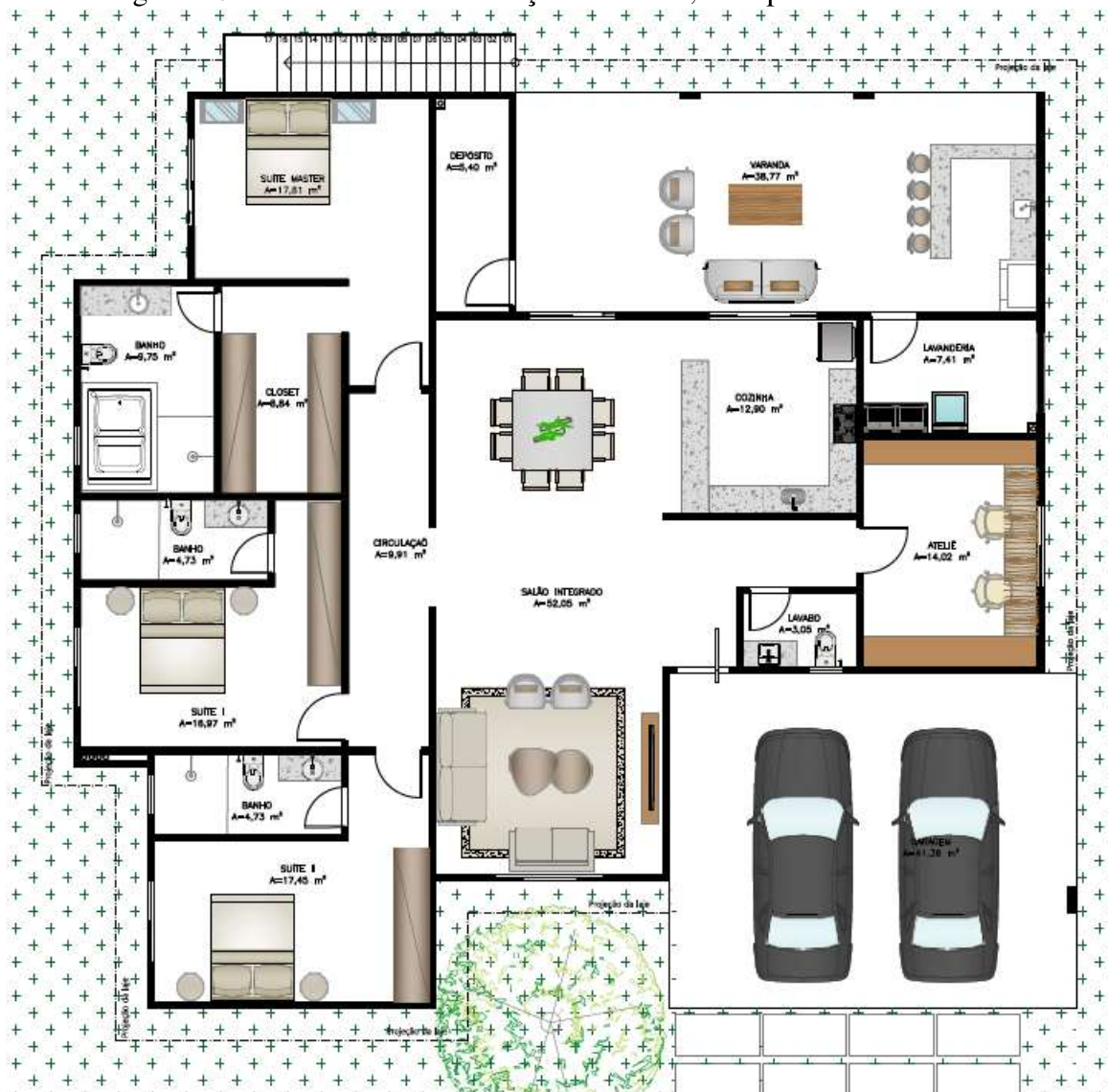
O método adotado segue as recomendações propostas nas normas brasileiras da ABNT (ABNT 2022), NBR 15575 (ABNT 2021) e NBR 15220 (ABNT 2005) sobre avaliação do desempenho térmico de edificações residenciais.

Neste capítulo serão abordadas as etapas necessárias para a realização eficaz da pesquisa. O método proposto é descrito na sequência.

4.2 Local escolhido para simulação

Foi escolhida uma edificação residencial unifamiliar térrea com 295 m² de área construída, composta por 13 ambientes (3 dormitórios, 3 banheiros, *closet*, lavabo, depósito, lavanderia, sala e cozinha integrada, garagem e varanda), conforme Figura 4.3, cuja planta baixa é mostrada com maiores detalhes no Anexo A.

Figura 4.3: Planta baixa da edificação analisada, base para o modelo real



Fonte: Arq. Aila Veras, 2022

A edificação residencial unifamiliar está localizada no Condomínio Residencial Santa Bárbara, no bairro Jardim Botânico, cidade de Brasília no Distrito Federal.

Nas Figuras 4.4 e 4.5 são apresentadas, respectivamente, uma imagem extraída do *Google Maps* com a posição assinalada em amarelo da edificação real e uma foto da fachada frontal.

Figura 4.4: Posição da casa analisada no Condomínio Fazenda Santa Bárbara - marcada em amarelo - coordenadas 15°57'47.1"S 47°49'24.6"W



Fonte: Google Maps, 2023

Figura 4.5: Foto Frontal da Casa no Condomínio Fazenda Santa Bárbara



Fonte: Autor , 2021

4.3 Definição dos Contextos Bioclimáticos

Foram escolhidas oito cidades entre diferentes estados e o Distrito Federal representativas das oito Zonas Bioclimáticas Brasileiras (ZBB), conforme a Tabela 4.1, cujo o critério de escolha foi a disponibilidade de dados bioclimáticos oficiais mais recentes do INMET (INMET 2022) gerados em um mesmo ano base (2018) e a temperatura média representativa da ZBB a que pertence.

Tabela 4.1: Cidades Escolhidas

ZBB	Cidade	UF	Latitude	Longitude	Altitude
1	Curitiba	PR	25,43° S	49,27° W	934 m
2	Santa Maria	RS	29,68° S	53,81° W	95 m
3	Porto Alegre	RS	30,03° S	51,23° W	47 m
4	Brasília	DF	15,78° S	47,93° W	1160 m
5	Niterói	RJ	22,91 S	43,13° W	13 m
6	Catalão	GO	18,16° S	47,93° W	890 m
7	Barreiras	BA	12,15° S	44,99° W	470 m
8	Belém	PA	1,46° S	48,50° W	24 m

Fonte: INMET - Arquivos EPW ano base 2018

O contexto bioclimático das cidades escolhidas é apresentado através da caracterização climatológica descrita de acordo com as Tabelas de classificação climática mais utilizadas 3.4, 3.5 e 3.4 propostas por Köppen e modificadas por Geiger (AYOADE 1996) e obtidas no portal Climate Data (CLIMATE DATA CLIMA BRASIL 2022).

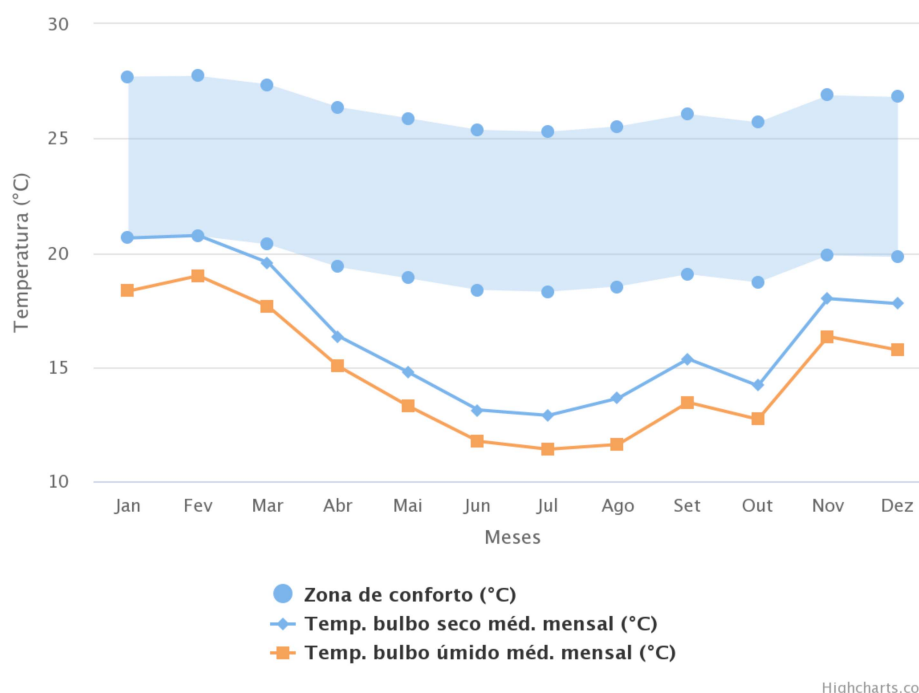
4.3.1 Zona Bioclimática 1 - Curitiba PR

A cidade de Curitiba apresenta um clima quente e temperado com uma pluviosidade significativa ao longo do ano, mesmo no mês mais seco. O clima é classificado com Cfb segundo a Köppen e Geiger (AYOADE 1996) com temperatura média de 17,2 °C e a média anual de pluviosidade é de 1630 mm.

O mês mais seco é Abril com 84 mm de precipitação. A maioria da precipitação ocorre em Janeiro, com uma média de 233 mm. Fevereiro é o mês mais quente do ano com temperatura média de 20,6 °C. Julho, aponta a temperatura de 13,4 °C sendo esta a temperatura média mais baixa do ano.

A diferença de precipitação entre o mês mais seco e o mês mais chuvoso é de 149 mm. Durante o ano as temperaturas médias variam 7,2 °C. A umidade relativa mais baixa durante o ano é em Agosto (79,97 %) e o mês com maior umidade é Fevereiro (85,86 %). O mês que possui menos dias chuvosos é Agosto (8,03 dias) enquanto que o mês com mais dias chuvosos é Janeiro (24,30 dias) conforme apresentado na Figura 4.6.

Figura 4.6: Gráfico das Temperaturas de Curitiba
Gráfico das temperaturas



Fonte: Projeteee, 2021

4.3.2 Zona Bioclimática 2 - Santa Maria RS

Em Santa Maria ¹o clima é quente e temperado, existe uma pluviosidade significativa ao longo do ano, mesmo no mês mais seco. De acordo com a Köppen e Geiger a classificação do clima é Cfa e a temperatura média em Santa Maria é 19,0 °C e uma pluviosidade média anual de 1838 mm.

Agosto é o mês mais seco com 123 mm. O mês de Outubro é o mês com maior precipitação, apresentando uma média de 215 mm. A diferença entre a precipitação do mês mais seco e do mês mais chuvoso é de 92 mm e as temperaturas médias têm uma variação de 11,4 °C durante o ano.

O mês mais quente do ano é Janeiro com uma temperatura média de 24,4 °C e o mes mais frio é Julho que tem uma temperatura média de 13,1 °C.

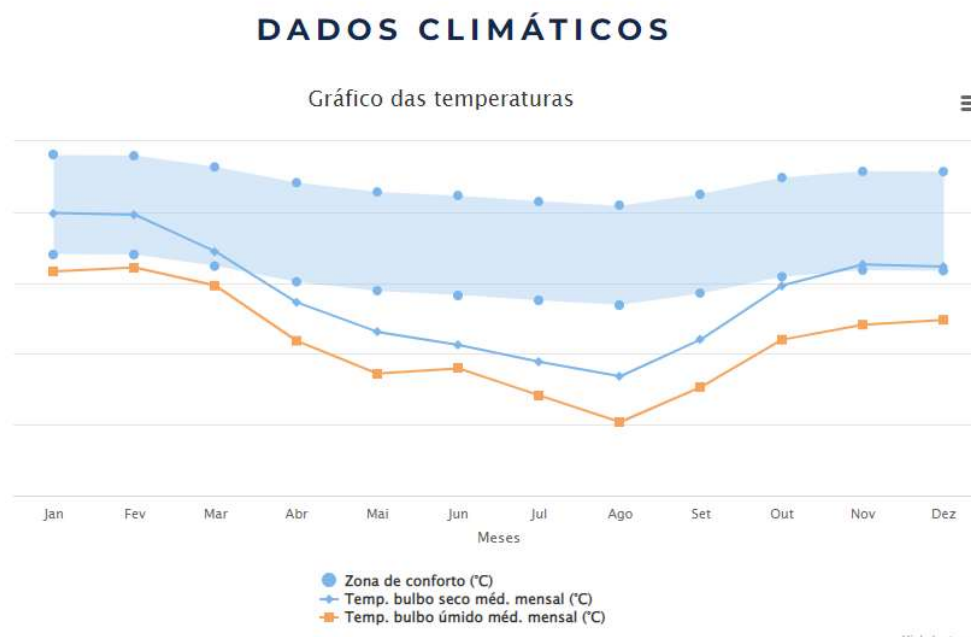
A umidade relativa mais baixa durante o ano é em Dezembro (70,63 %) e o mês com maior umidade é Junho (83,22 %).

Os dias mais chuvosos esperados em Maio são de 9,37 dias, enquanto os dias mais chuvosos medidos em Janeiro são de 13,87 dias.

¹A cidade originalmente escolhida para representar a ZZB 2 era Bajé, porém o arquivo bioclimático epw do INMET(2018) disponibilizado estava corrompido, por isso trocou-se de cidade.

O gráfico com as temperaturas médias anuais de Santa Maria é mostrado na Figura 4.7.

Figura 4.7: Gráfico da temperatura em Santa Maria



4.3.3 Zona bioclimática 3 - Porto Alegre RS

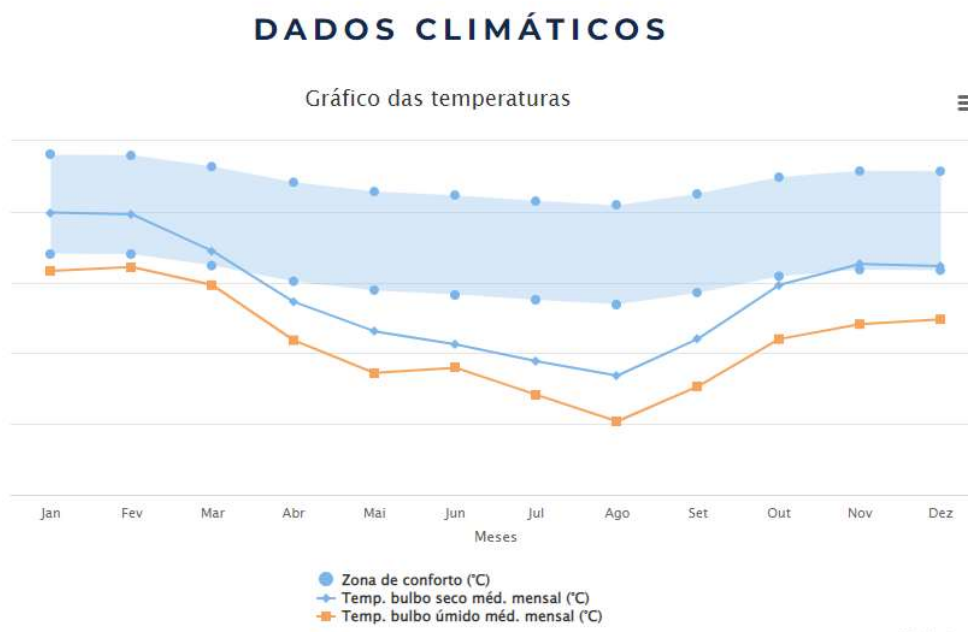
Porto Alegre tem um clima quente e temperado e existe uma pluviosidade significativa ao longo do ano, mesmo o mês mais seco. Segundo a Köppen e Geiger o clima é classificado como Cfa. Porto Alegre tem uma temperatura média de 19,7 °C e uma pluviosidade média anual de 1580 mm.

O mês mais seco é Maio com uma precipitação de 109 mm e o mês de Outubro é o mês de maior precipitação, com uma média de 174 mm.

No mês de Janeiro, o mês mais quente do ano, a temperatura média é de 24,8 °C e a temperatura média em Julho é de 14,0 °C sendo a temperatura média mais baixa de todo o ano.

O gráfico com as temperaturas médias anuais em Porto Alegre é mostrado na Figura 4.8.

Figura 4.8: Gráfico da Temperatura em Porto Alegre



Fonte: Projeteee, 2021

4.3.4 Zona Bioclimática 4 - Brasília DF

A cidade de Brasília caracteriza-se por ter um clima tropical de altitude (Aw), com período chuvoso no verão e seco no inverno, devido a massa polar atlântica. No inverno existe muito menos pluviosidade que no verão. A classificação do clima é Aw segundo a Köppen e Geiger. A temperatura média em Brasília é de 21,9 °C e a média anual de pluviosidade é de 1443 mm. A precipitação no mês de Julho é de 2 mm, que é o mês mais seco. A maioria da precipitação cai em Dezembro, com uma média de 250 mm. Outubro é o mês mais quente do ano com uma temperatura média de 24,0 °C. Com uma temperatura média de 20,0 °C, Julho é o mês com a mais baixa temperatura ao longo do ano.

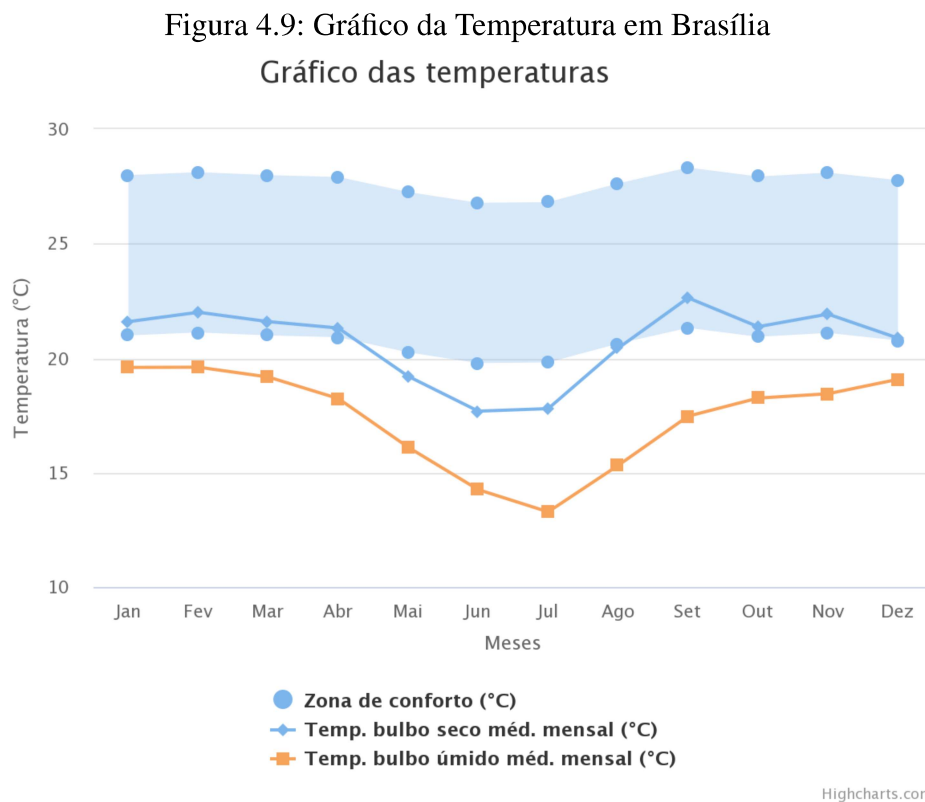
A diferença de precipitação entre o mês mais seco e o mês mais chuvoso é de 248 mm. Ao longo do ano as temperaturas médias variam 4,0 °C.

O mês com maior umidade relativa é Março (78,24 %) e o mês com a umidade relativa mais baixa é Agosto (42,29 %).

O mês com maior número de dias chuvosos é Dezembro (23,00 dias) e o mês com o menor número é Julho (0,40 dias).

Está situada na latitude 15°52' Sul, longitude é 47°50' Oeste e altitude é de 1100 metros e está inserida na Zona Bioclimática Brasileira (ZBB) número quatro.

O gráfico com as temperaturas médias anuais em Brasília é mostrado na Figura 4.9.



Fonte: Projeteee

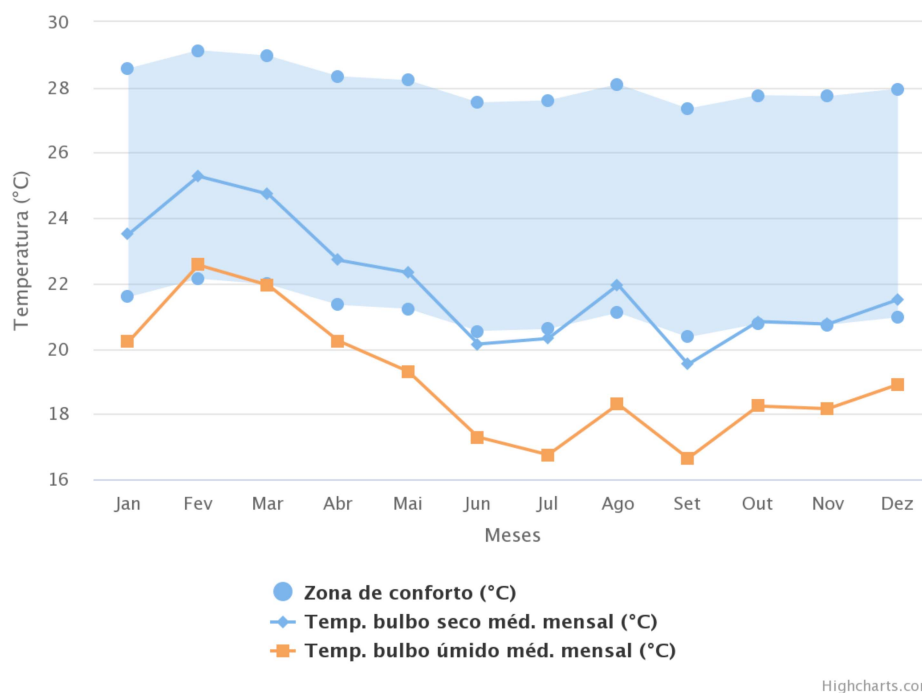
4.3.5 Zona Bioclimática 5 - Niterói RJ

A cidade de Niterói tem um clima tropical. Chove muito menos no inverno que no verão. A classificação do clima é Aw de acordo com a Köppen e Geiger. Em Niterói a temperatura média é 23,3 °C e a pluviosidade média anual é 1103 mm. Agosto é mês mais seco com uma precipitação de 41 mm e o mês com maior precipitação é Janeiro, com uma média de 147 mm. A temperatura média do mês de Fevereiro é de 26,6 °C que é o mês mais quente do ano. A temperatura média mais baixa do ano ocorre em Julho e é de 20,1 °C.

O mês mais seco tem uma diferença de precipitação de 106 mm em relação ao mês mais chuvoso. Anualmente as temperaturas médias variam 6,5 °C. O mês com maior umidade relativa é Abril (79,45 %) e o mês com a umidade relativa mais baixa é Setembro (73,29 %). O mês com maior número de dias chuvosos é Março (15,30 dias) e o mês com o menor número é Junho (7,63 dias).

O gráfico com as temperaturas médias anuais em Niterói é mostrado na Figura 4.10.

Figura 4.10: Gráfico da Temperatura em Niterói
Gráfico das temperaturas



Fonte: Projeteee

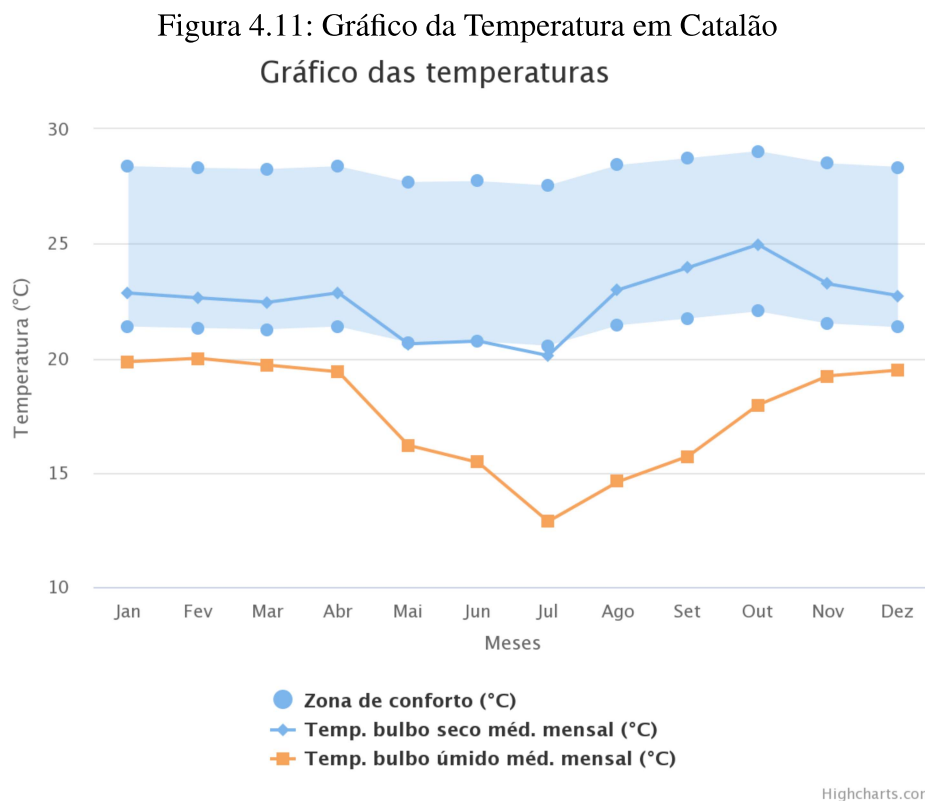
4.3.6 Zona Bioclimática 6 - Catalão GO

Catalão tem um clima de savana tropical (Aw). No inverno existe muito menos pluviosidade que no verão. A classificação do clima é Aw segundo a Köppen e Geiger (AYOADE 1996). Catalão tem uma temperatura média de 22,6 °C e pluviosidade média anual de 1367 mm. A temperatura média do mês de Outubro, o mês mais quente do ano, é de 24,9 °C.

Em Junho, a temperatura média é 20,1 °C e é a temperatura média mais baixa de todo o ano. O mês mais seco tem uma diferença de precipitação de 264 mm em relação ao mês mais chuvoso. As temperaturas médias, durante o ano, variam 4,8 °C. O mês com maior umidade relativa é Março (78,19 %) e o mês com a umidade relativa mais baixa é Agosto (45,09 %). O mês com maior número de dias chuvosos é Dezembro (22,90 dias) e o mês com o menor número é Julho (0,80 dias).

Em Catalão, o mês com mais horas diárias de sol é Setembro com uma média de 10,14 horas de sol. No total, são 314,43 horas de sol neste mês. O mês com menos horas diárias de sol em Catalão é Janeiro com uma média de 8,93 horas de sol por dia. No total, são 267,85 horas de sol em Janeiro. Cerca de 3436,65 horas de sol são contadas em Catalão ao longo do ano, em média, são 112,99 horas de sol por mês.

O gráfico com as temperaturas médias anuais em Catalão é mostrado na Figura 4.11.



Fonte: Projeteee, 2021

4.3.7 Zona Bioclimática 7 - Barreiras BA

O clima em Barreiras é tropical. No inverno existe muito menos pluviosidade que no verão. De acordo com a Köppen e Geiger (AYOADE 1996) o clima é classificado como Aw. A temperatura média anual em Barreiras é 25,7 °C. A pluviosidade média anual é de 863 mm. Julho é o mês mais seco com 0 mm. A maioria da precipitação cai em Novembro, com uma média de 154 mm. Outubro é o mês mais quente do ano com uma temperatura média de 28,3 °C. Em Julho, a temperatura média é 24,2 °C e é a temperatura média mais baixa de todo o ano.

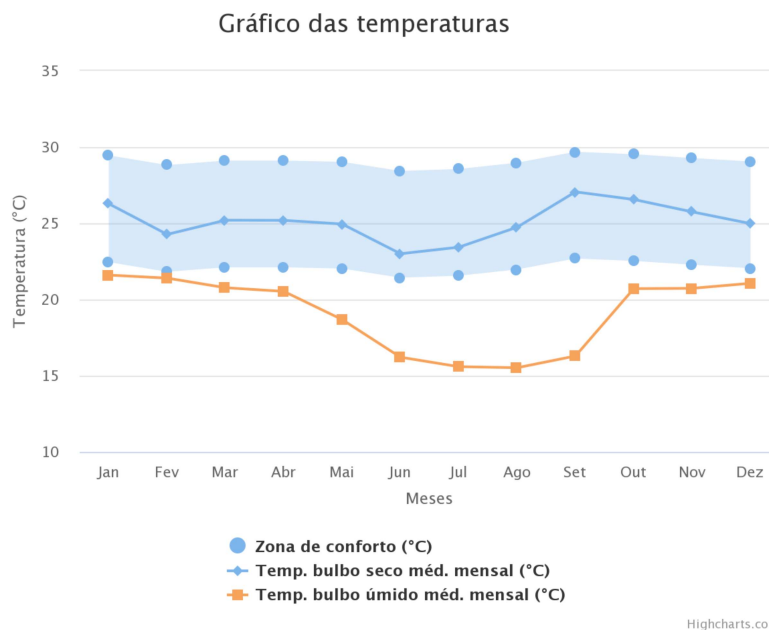
Se compararmos o mês mais seco com o mês mais chuvoso verificamos que existe uma diferença de precipitação de 154 mm. Ao longo do ano as temperaturas médias variam 4,1 °C. O mês com maior número de dias chuvosos é Março (15,93 dias) e os meses com o menor número são Julho(0) e Agosto (0,20 dias).

Em Barreiras, o mês com mais horas diárias de sol é Setembro com uma média de 10,44 horas de sol. No total, são 323,65 horas de sol em Setembro. O mês com menos horas diárias de sol em Barreiras é Janeiro com uma média de 9,94 horas de sol por dia. No total, são 308,12 horas de sol em Janeiro. Cerca de 3536,45 horas de sol são contadas

em Barreiras ao longo do ano, mm média, são 116,23 horas de sol por mês. O mês com maior umidade relativa é Março (72,31 %). O mês com a umidade relativa mais baixa é Setembro (37,02 %).

O gráfico com as temperaturas médias anuais em Barreiras é mostrado na Figura 4.12.

Figura 4.12: Gráfico da Temperatura em Barreiras



Fonte: Projeteer, 2021

4.3.8 Zona bioclimática 8 - Belém PA

Belém tem um clima tropical. Só existe uma curta época seca e não é muito eficaz, enquanto que na maioria dos meses do ano existe uma pluviosidade significativa. A classificação do clima é Am segundo a Köppen e Geiger (AYOADE 1996). A temperatura média é de 26,7 °C. A pluviosidade média anual de 2085 mm.

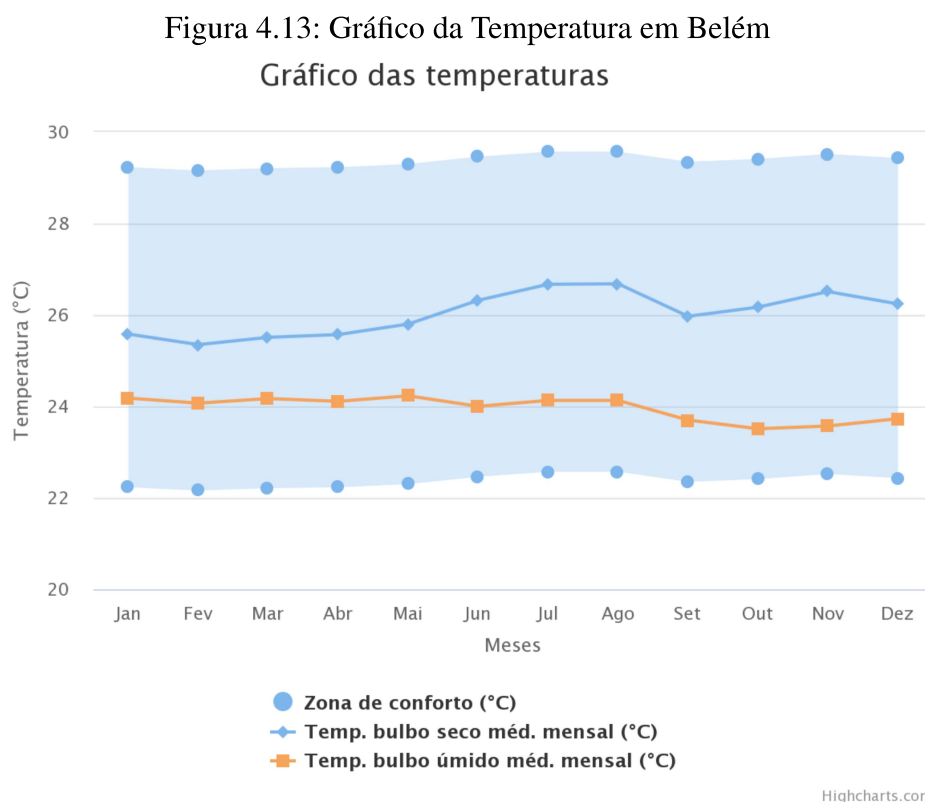
O mês mais seco é Setembro com 29 mm. Com uma média de 404 mm o mês de Março é o mês de maior precipitação. Com uma temperatura média de 28,1 °C, Novembro é o mês mais quente do ano. Com uma temperatura média de 25,6 °C, Março é o mês com a mais baixa temperatura ao longo do ano.

Se compararmos o mês mais seco com o mês mais chuvoso verificamos que existe uma diferença de precipitação de 375 mm. Durante o ano as temperaturas médias variam 2,4 °C. Novembro é o mês com a mais baixa umidade relativa (71,74 %) e em Abril a umidade relativa do ar é mais alta (88,04 %). Em média, os dias menos chuvosos

são medidos em Outubro (6,97 dias) e o mês com os dias mais chuvosos é Março (28,80 dias).

O maior número de horas diárias de sol é medido no mês de Agosto, em média 8,96 horas e um total de 277,76 horas. Em Janeiro ocorre o menor número de horas diárias de sol, em média 8,46 horas e um total de 262,17 horas. Cerca de 2872,85 horas de sol são contadas em Belém ao longo do ano, em média, são 94,34 horas de sol por mês.

O gráfico com as temperaturas médias anuais em Belém é mostrado na Figura 4.13.



Fonte: Projetee, 2021

4.4 Resumo dos diferentes climas, temperaturas e precipitações pluviométricas encontrados nas cidades escolhidas

Um resumo dos diferentes climas, temperaturas e precipitações pluviométricas anuais nas cidades escolhidas é mostrado na Tabela 4.2.

Tabela 4.2: Cidades, seus climas, temperatura média e precipitação pluviométrica anual

ZBB	Cidade	UF	Köppen	Temp.°C	Precipitação (mm/ano)
1	Curitiba	PR	Cfb	17,2	1630
2	Santa Maria	RS	Cfa	19,0	1838
3	Porto Alegre	RS	Cfa	19,7	1580
4	Brasília	DF	Aw	21,9	1443
5	Niterói	RJ	Aw	23,3	1103
6	Catalão	GO	Aw	22,6	1367
7	Barreiras	BA	Aw	25,7	863
8	Belém	PA	AM	26,7	2085

Fonte: Climate Data, 2021

4.5 Simulação Computacional

A avaliação do desempenho térmico de uma edificação é uma tarefa complexa que requer a consideração de diversos fatores, como as características do clima local, as condições de uso da construção e as propriedades térmicas dos materiais utilizados em sua construção. Uma forma eficaz de realizar essa avaliação é através de simulações computacionais que permitem analisar o comportamento térmico da edificação em diferentes cenários, levando em consideração variáveis como a orientação solar, o tipo de cobertura, o isolamento térmico, a ventilação e outros aspectos relevantes. Nesse estudo, foram utilizados dois programas de computador para realizar as simulações: o ([OPENSTUDIO 2022](#)) versão 3.1.1 e o ([ENERGYPLUS 2022](#)). O primeiro programa é um ambiente de modelagem de edificações integrado ao EnergyPlus, que permite a criação de modelos de construções com diferentes níveis de detalhamento e a realização de simulações dinâmicas de desempenho energético e térmico. Já o EnergyPlus é um software de simulação energética de edificações de código aberto, amplamente utilizado por engenheiros e arquitetos para avaliar o desempenho térmico e energético de edificações. Além desses programas, também foi utilizado o ([CLIMATE CONSULTANT 6.0 2022](#)), que é um software de análise climática que permite a obtenção de dados meteorológicos de diferentes localidades do mundo e a realização de análises estatísticas desses dados. Vale ressaltar que o uso de programas de simulação computacional é uma prática cada vez mais comum na área de construção civil, pois permite a realização de análises precisas e detalhadas do desempenho térmico das edificações, contribuindo para o desenvolvimento de construções mais eficientes, econômicas e sustentáveis.

4.6 Modelo geométrico e parâmetros de simulação adotados

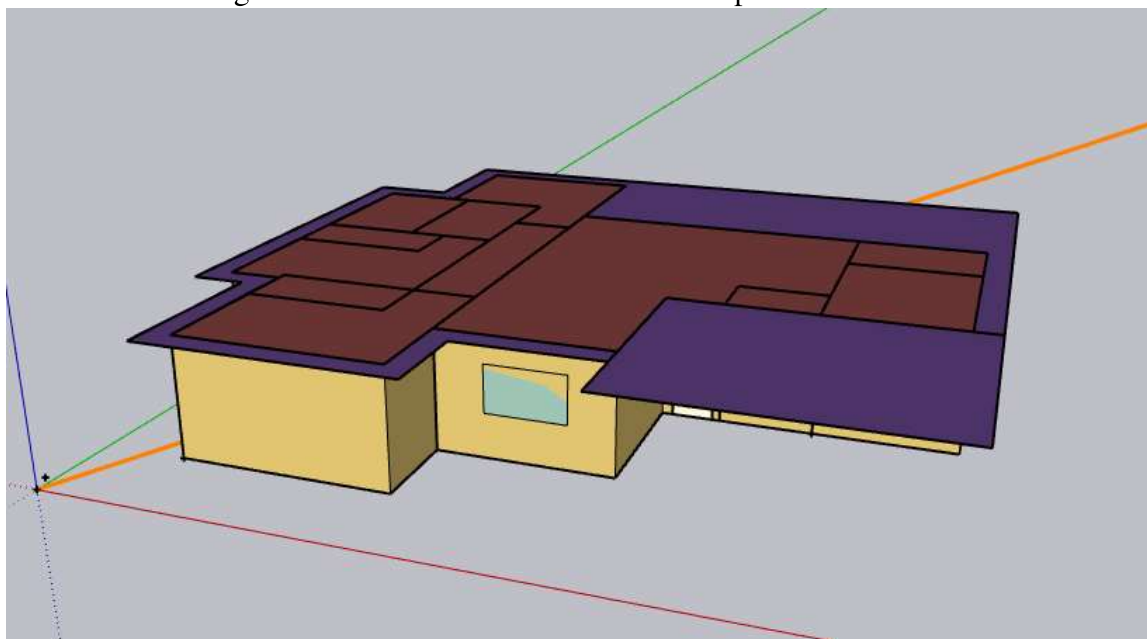
A partir do projeto executivo fornecido pelo proprietário da habitação residencial unifamiliar, definiu-se o modelo mais adequado para representar a edificação analisada. Foram adotados os parâmetros de entrada, critérios e métodos prescritos nas recomendações das normas NBR 15.575 (ABNT 2021) e NBR 15.220 (ABNT 2005) que afetam o desempenho térmico de edificações térreas mostrados nas Tabelas 4.3 e 4.4.

Elaborou-se o modelo com o auxílio dos programas *Sketchup* versão 2020 (SKETUP PRO 2022) com o acréscimo do *plug-in Open Studio* versão 3.1.1 (OPENSTUDIOCOALITION 2022) conforme mostra a Figura 4.14.

A faixa de temperatura operativa considerada (prevista na NBR 15575-1) varia com o clima local, sendo possíveis três intervalos: de 18 °C a 26 °C, até 28 °C e até 30 °C;

As informações climatológicas foram obtidas a partir dos arquivos climáticos do INMET, ano base 2018, disponíveis no portal do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina (LABEEE 2022).

Figura 4.14: Modelo tridimensional no Open Studio 3.1.1



Fonte: Autor

As propriedades características baseadas no modelo da edificação real são mostradas na Tabela 4.3.

Tabela 4.3: Propriedades características do caso real

Parâmetros	Característica caso real
Transmitância térmica das paredes	0,4 W/m ² K
Absortância a radiação solar das paredes	0,5
Capacidade térmica das paredes	143,9 KJ/m ² K
Atraso térmico das paredes	8,1 h
Transmitância térmica da cobertura	1,8 W/m ² K
Absortância a radiação solar da cobertura	0,5
Capacidade térmica da Cobertura	296 KJ/m ² K
Temperatura do solo	comportamento adiabático
Taxa de Renovação de Ar	1 renovação por hora

Fonte: Autor

Esse modelo baseado na edificação real foi ajustado para obter o modelo de referência com os parâmetros da NBR 15220 (ABNT 2005) previstos e são mostrados na Tabela 4.4.

Tabela 4.4: Propriedades características do caso de referência

Parâmetros	Característica de referência
Transmitância térmica das paredes	2,13 W/m ² K
Absortância a radiação solar das paredes	0,5
Capacidade térmica das Paredes	155 KJ/m ² K
Atraso térmico das paredes	3,7 h
Transmitância térmica da Cobertura	1,8 W/m ² K
Absortância a radiação solar da cobertura	0,5
Capacidade térmica da Cobertura	296 KJ/m ² K
Temperatura do solo	comportamento adiabático
Taxa de Renovação de Ar	1 renovação por hora

Fonte: Autor

O modelo baseado na edificação real serviu de base para se obter o modelo de referência visando ajustar os coeficientes de descarga das aberturas de ventilação de previstos na norma NBR 15575-3 (ABNT 2021).

Também foi substituído o material construtivo das paredes para alvenaria convencional prescrita na norma como material de referência e repetiu-se o processo de simulação computacional.

A seguir comparou-se o modelo real com o modelo de referência para aferir-se o resultado dos painéis monolíticos de EPS na Zona Bioclimática 4 de Brasília versus a edificação usando alvenaria convencional.

Várias simulações foram feitas para as diferentes cidades escolhidas, mantendo-se a mesma orientação espacial e volumetria da edificação real situada em Brasília até que se obtivesse os resultados para cada Zona Bioclimática Brasileira.

4.7 Método de simulação utilizado

As simulações computacionais foram realizadas de acordo com as recomendações da norma NBR 15575 (ABNT 2021) de duas maneiras diferentes, a saber:

- Simulação feita com o software *Open Studio* versão 3.1.1 da edificação escolhida a partir do modelo elaborado com base nas plantas baixas e especificações do projeto executivo fornecido pelo proprietário com as paredes construídas com os painéis monolíticos de EPS com malha eletro soldada e argamassados com 3,5 cm de espessura em ambas as faces (interna e externa). Foram obedecidos os padrões de ocupação e de carga térmica previstos na NBR 15575 (item 11.2) para as áreas de permanência prolongada (APP).
- Simulação feita adequando-se o modelo às especificações de referência previstas na NBR15575 (item 11.2) quanto ao desempenho térmico, requisitos, critérios a serem adotados e substituindo-se o material construtivo, painéis monolíticos de EPS, por alvenaria de vedação convencional com bloco cerâmicos de oito furos com as medidas 12x19x19 cm e 2,5 cm de revestimento argamassado interno e externo.

Os procedimentos de análise estão mostrados esquematicamente na Figura 4.15.

A seguir fez-se a análise comparativa dos desempenhos térmicos obtidos pelos diferentes métodos construtivos entre si, para a Zona Bioclimática número 4 onde está situada a residência analisada.

Após, estes mesmos procedimentos foram realizados para as demais Zonas Bioclimáticas Brasileiras usando os seus respectivos arquivos bioclimáticos disponíveis em Labeee (LABEEE 2022).

A partir dos dados gerados nas simulações das cidades escolhidas foram analisados os resultados obtidos utilizando-se a planilha disponibilizada pelo Labeee (LABEEE 2022), quanto ao grau de desconforto térmico, seja ele causado pelo frio ou pelo calor excessivo, em duas situações, a edificação ventilada naturalmente e sem ventilação natural. A primeira página da planilha utilizada com as instruções de de preenchimento é mostrada na Figura 4.16.

Figura 4.15: Análise de Desempenho Térmico



Fonte: Labeee, 2021

Figura 4.16: Instruções de preenchimento da Planilha disponibilizada pelo Labeee

INSTRUÇÕES PARA O USO DA PLANILHA

- Na aba INÍCIO, selecione/digite a cidade onde está localizada a UH
- Clique no botão verde: "Clique aqui para adicionar nova Unidade Habitacional (UH)"
- Uma nova aba será criada, de acordo com os limites de temperatura conforme a NBR 15.575.**
- A aba vem com dois ambientes padrões (Sala e Dormitório). Com espaço para o ambiente de referência e o ambiente real. É possível adicionar mais ambientes clicando no botão: "Adicionar ambientes"*

- Copiar e colar toda a coluna de resultados (outputs) horários da simulação nos respectivos espaços da planilha;
- **Dados (outputs do EnergyPlus) a serem inseridos na planilha:**
- Do Modelo com Ventilação Natural: Temperatura operativa horária de cada APP, em °C (output: Zone Operative Temperature);*
- Do Modelo sem Ventilação Natural: Carga térmica horária de refrigeração de cada APP, em Joules (output: Zone Ideal Loads Zone Total Cooling Energy).*
- Do Modelo sem Ventilação Natural: Carga térmica horária de aquecimento de cada APP, em Joules (output: Zone Ideal Loads Zone Total Heating Energy).*
- **Estes dados devem ser inseridos para cada APP, dentro do respectivo espaço na planilha, de acordo com o tipo de APP (sala, dormitório 1 ou dormitório 2);**

- **Resultados esperados:**
- PHFT da UH de referência e real
- Carga Térmica de Resfriamento, Aquecimento e Total da UH de referência e real
- Temperatura Operativa Máxima e Mínima da UH de referência e real
- Nível da edificação - Nível de desempenho térmico de acordo com a NBR 155575

Modificar apenas as células em tons de azul

Para sugestões de melhorias: contato.labeee@gmail.com

Última atualização: 06/12/2021

Desenvolvido por: **labEEE** LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES

[Ir para Início](#)

Fonte: Labeee, 2021

Para a ZBB 8, representada neste estudo pela cidade de Belém, acrescentou-se no modelo de referência um telhado de acordo com a recomendação normativa.

Resultados da Simulação Computacional

5.1 Análise das simulações de desempenho térmico

5.1.1 Procedimentos de análise

Neste item, avaliamos os resultados dos níveis de desempenho térmico obtidos nas diferentes simulações realizadas para cada cidade escolhida e seus respectivos percentuais de horas em que a temperatura operativa permaneceu dentro da faixa definida pela norma, tanto para casos de excesso de calor quanto de frio, para os diferentes materiais construtivos analisados. Para isso, utilizamos a Planilha NBR 15575 Oficial R2 disponibilizada pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina ([LABEEE 2022](#)).

5.1.2 Análise dos resultados obtidos nas oito zonas bioclimáticas brasileiras

A partir das simulações com os dados climáticos do INMET ([INMET 2022](#)), ano base 2018, de cada cidade escolhida, em cada Zona Bioclimática Brasileira, de acordo com suas temperaturas médias de bulbo seco compensada anual, conforme mostrado na Tabela 5.1 ([NORMAIS 2022](#)), foram analisados os resultados do modelo baseado nas escolhas construtivas implementadas para a edificação (modelo real) versus o modelo de referência previsto na ABNT NBR15775 ([ABNT 2021](#)) e com dados de propriedades térmicas da NR 15220 ([ABNT 2005](#)) implementados com o mesmo leiaute e volumetria da edificação real.

Tabela 5.1: Temperatura de bulbo seco média compensada anual obtida no portal do INMET

ZBB	Cidade	Estado	TBS média °C	Intervalo TO
1	Curitiba	PR	17,9	1
2	Santa Maria	RS	19,4	1
3	Porto Alegre	RS	19,9	1
4	Brasília	DF	21,4	1
5	Niterói	RJ	21,8	1
6	Catalão	GO	23,2	1
7	Barreiras	BA	25,2	2
8	Belém	PA	26,8	3

Fonte: INMET - Normal Climatológica do Brasil 1991 -2020

Temperatura Operativa (TO) - Intervalo 1 (18°C a 26°C), 2(até 28°C) e 3(até 30°C)

5.1.3 Resultados das simulações nas cidades escolhidas

Com os dados de saída do *Open Studio* preencheu-se a Planilha NB15575 Oficial R2 do LABEEE (LABEEE 2022) cujos resultados são mostrados a seguir.

Os parâmetros usados na simulação considerando a edificação ventilada apenas naturalmente foram:

- TO - Temperatura Operativa
- PHFT - Percentual de horas em que uma Unidade Habitacional se encontra dentro de uma faixa de temperatura operativa pré-definida.
- Tomáx - Temperatura operativa máxima.
- Tomín - Temperatura operativa mínima.

Já os parâmetros considerando apenas o caso sem ventilação natural foram:

- CgTA - Carga Térmica de Aquecimento.
- CgTR - Carga Térmica de Resfriamento.
- CgTT - Carga Térmica Total.

Considerou-se ainda as áreas dos quatro cômodos considerados como Áreas de Permanência Prolongada (APP), sala (66,95 m²), dormitório 1 (19,16 m²), dormitório 2 (18,37 m²) e dormitório 3 (19,24 m²) que ao todo somaram um total de 123,7 m². A partir delas calculou-se as aberturas de referência como prescreve a NBR 15575, que resultaram em valores maiores que as existentes na edificação real.

Na Figura 5.1 é mostrado o resultado detalhado das ZBB 1 a 4 e na Figura 5.2 os resultados das ZBBs 5 a 8, com todos os cálculos das Áreas de Permanência Prolongada (APP) e o respectivo resultado da Unidade Habitacional para cada cidade analisada.

Figura 5.1: Resumo detalhado dos cálculos - ZBB 1-4

Resultado da Unidade Habitacional por Ambiente de Permanência Permanente por Zona Bioclimática Brasileira 1 a 4													
ZBB	Cidade	APP=4, Área=123,7 m ²	Sala(66,95 m ²)		Suíte(19,16 m ²)		Quarto 1 (18,37 m ²)		Quarto 2 (19,24 m ²)		Resultado da UH		Nível de Desempenho
		Variável	Referência	Real	Referência	Real	Referência	Real	Referência	Real	Referência	Real	
1	Curitiba	PHFTapp(%)	54%	73%	53%	66%	57%	71%	57%	71%	55,32%	70,39%	Mínimo
		CgTRapp(KWh)	3225	286	90	0	125	14	132	16	3571	315,48	Intermediário
		CgTAapp(KWh)	155	4	1404	233	1071	41	1083	43	3713,86	311,83	Superior
		CgTTapp(KWh)	3380	290	1494	233	1196	55	1215	59	7284	627	
		TOMáx(°C)	35,3	30	30,2	27,9	30,2	28,7	30,5	28,8	35,35	29,99	
		TOMín(°C)	13,8	15,9	8,5	12,6	9	14,5	9	14,5	8,5	12,62	
2	Santa Maria	PHFTapp(%)	54%	70%	57%	70%	62%	80%	61%	79%	58,75%	74,50%	Mínimo
		CgTRapp(KWh)	2549	678	33	10	49	62	58	69	2688,85	819,50	Intermediário
		CgTAapp(KWh)	132	0	1208	188	903	24	919	25	3162,75	236,49	Superior
		CgTTapp(KWh)	2681	678	1241	198	952	86	977	94	5852	1056	
		TOMáx(°C)	37,0	30,3	31,0	28,9	31,1	29,7	31,3	29,8	36,98	30,27	
		TOMín(°C)	13,4	16,1	9,5	13,2	10,3	15,2	10,0	15,2	9,55	13,23	
3	Porto Alegre	PHFTapp(%)	59%	90%	77%	100%	89%	99%	87%	99%	77,94%	97,12%	Mínimo
		CgTRapp(KWh)	2457	220	3	0	6	5	7	7	2473,20	231,98	Intermediário
		CgTAapp(KWh)	0	0	548	1	254	0	306	0	1107,91	0,95	Superior
		CgTTapp(KWh)	2457	220	551	1	260	5	313	7	3581	233	
		TOMáx(°C)	33,5	26,9	26,9	25,6	27,2	26,6	27,3	26,8	33,53	27,76	
		TOMín(°C)	17,7	14,4	14,4	17,7	15,2	19,5	15,0	19,4	14,45	17,73	
4	Brasília	PHFTapp(%)	62%	78%	89%	97%	93%	91%	92%	91%	83,69%	89,21%	Mínimo
		CgTRapp(KWh)	2020	379	3	1	7	31	8	32	2037,89	443,24	Intermediário
		CgTAapp(KWh)	0	0	41	2	0	0	0	0	41,42	1,63	Superior
		CgTTapp(KWh)	2020	379	44	3	7	31	8	32	2079	445	
		TOMáx(°C)	35,4	28,9	29,4	27,4	29,4	28,2	29,7	28,4	35,38	28,89	
		TOMín(°C)	15,8	19,0	13,9	16,6	14,5	18,5	14,5	18,4	13,89	16,64	

Fonte: Autor

Figura 5.2: Resumo detalhado dos cálculos - ZBB 5-8

Resultado da Unidade Habitacional por Ambiente de Permanência Permanente por Zona Bioclimática Brasileira 5 a 8														
ZBB	Cidade	APP=4, Área=123,7 m ²	Sala(66,95 m ²)		Suíte(19,16 m ²)		Quarto 1 (18,37 m ²)		Quarto 2 (19,24 m ²)		Resultado da UH		Nível de Desempenho	
		Variável	Referência	Real	Referência	Real	Referência	Real	Referência	Real	Referência	Real		
5	Niterói	PHFTapp(%)	62%	78%	89%	97%	93%	91%	91%	92%	83,69%	89,21%	Mínimo	
		CgTRapp(KWh)	2797	630	33	8	51	76	56	79	2936,27	793,81	Intermediário	
		CgTAapp(KWh)	55	0	222	9	107	0	123	0	506,61	9,44	Superior	
		CgTTapp(KWh)	2852	630	255	17	158	76	179	79	3443	803		
		TOMáx(°C)	35,4	28,9	29,4	27,4	29,1	28,2	29,7	28,4	35,38	28,89		
		TOMín(°C)	15,8	19,0	13,9	16,6	14,5	18,5	14,5	18,4	13,89	16,64		
6	Catalão	PHFTapp(%)	51%	71%	90%	98%	94%	95%	93%	95%	81,87	89,85%	Mínimo	
		CgTRapp(KWh)	3925	809	27	5	51	46	47	45	4050,07	905,58	Intermediário	
		CgTAapp(KWh)	0	0	214	5	89	0	113	0	417,04	4,69	Superior	
		CgTTapp(KWh)	3925	809	241	10	140	46	160	45	4467	910		
		TOMáx(°C)	34,4	28,9	28,3	27,5	28,9	28,5	28,6	28,4	34,4	28,86		
		TOMín(°C)	18,3	21,2	14,2	17,4	15,1	19,4	14,8	19,3	14,24	17,43		
7	Barreiras	PHFTapp(%)	63%	87%	99%	100%	99%	98%	99%	98%	90%	95,72%	Mínimo	
		CgTRapp(KWh)	4743	488	21	0	47	27	46	26	4856,26	540,62	Intermediário	
		CgTAapp(KWh)												Superior
		CgTTapp(KWh)	4743	488	21	0	47	27	46	26	4856,26	540,62		
		TOMáx(°C)	31,4	29,3	29,2	27,9	29,8	28,8	29,5	28,8	31,38	29,29		
		TOMín(°C)	20,7	22,6	17,4	20	18,3	22,0	18,2	21,8	17,4	17,40		
8	Belém	PHFTapp(%)	58%	72%	99%	100%	98%	98%	97%	97%	87,60%	91,55%	Mínimo	
		CgTRapp(KWh)	377	0	0	0	0	0	0	0	377,43	0,00	Intermediário	
		CgTAapp(KWh)												Superior
		CgTTapp(KWh)	377	0	0	0	0	0	0	0	377,43	0,00		
		TOMáx(°C)	30,9	29,1	28,8	27,8	28,9	28,6	29,1	28,7	21,59	N.A		
		TOMín(°C)	23,0	23,9	21,6	22,3	22,3	23,9	22,2	23,8	377,4	0,00		

Fonte: Autor

5.1.4 Gráficos dos resultados obtidos por cidade analisada

A seguir serão mostrados os gráficos com os resultados obtidos por cidade representativa de cada uma das ZBB analisadas. Para cada cidade são mostrados três

gráficos:

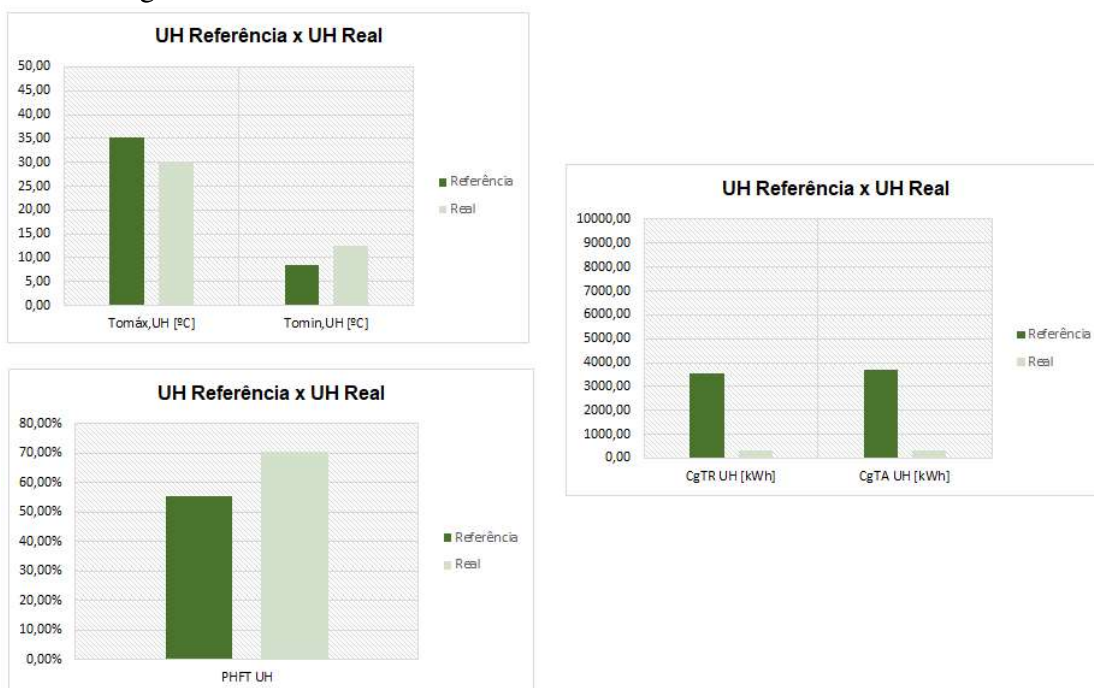
- O desempenho global da Unidade de Referência x a Unidade Real.
- Percentual de horas em que uma Unidade Habitacional se encontra dentro de uma faixa de temperatura operativa pré-definida (unidade de Referência x Unidade Real)
- Carga Térmica Total consumida pela Unidade (Unidade de Referência x Unidade Real)

Curitiba

Para a cidade de Curitiba, os resultados das simulações indicaram que a Unidade Real apresentou um desempenho térmico superior em relação à Unidade de Referência. O percentual de horas em que a Unidade Habitacional se manteve dentro da faixa de temperatura operativa pré-definida foi de 70,39% para a Unidade de Real, enquanto a Unidade de Referência apresentou um percentual de 55,32%. Além disso, a Carga Térmica Total anual consumida pela Unidade de Referência foi de 7.284 KWh, enquanto a Unidade Real consumiu 627 KWh, o que evidencia a maior eficiência energética da Unidade Real. Curitiba foi a cidade onde o método construtivo em EPS apresentou a maior economia de eletricidade anual - R\$ 4.327,10.

Os gráficos com os resultados da ZBB 1 - cidade de Curitiba são mostrados na Figura 5.3.

Figura 5.3: Gráficos com os resultados da cidade de Curitiba - ZBB 1



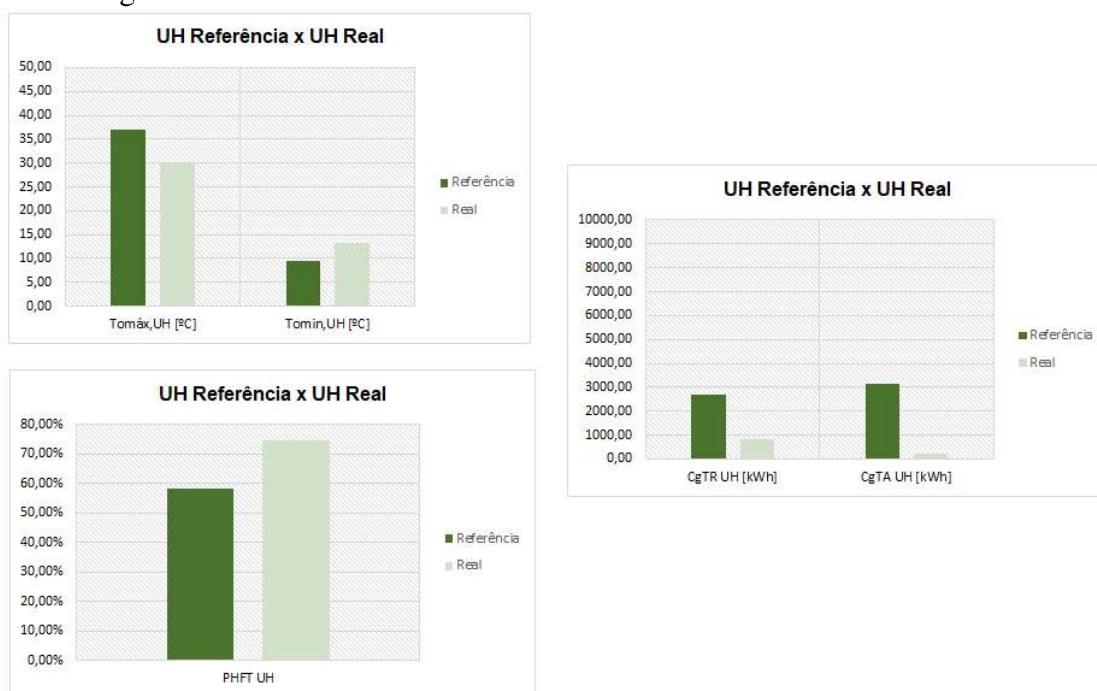
Fonte: Autor

Santa Maria

Para a cidade de Santa Maria, os resultados das simulações indicaram que a Unidade Real apresentou um desempenho térmico superior em relação à Unidade de Referência. O percentual de horas em que a Unidade Habitacional se manteve dentro da faixa de temperatura operativa pré-definida foi de 74,50% para a Unidade de Real, enquanto a Unidade de Referência apresentou um percentual de 58,35%. Além disso, a Carga Térmica Total anual consumida pela Unidade de Referência foi de 5.852 KWh, enquanto a Unidade Real consumiu 1.056 KWh, o que evidencia a maior eficiência energética da Unidade Real. Santa Maria apresentou o segundo melhor resultado com uma economia anual em energia elétrica de R\$ 3.117,15.

Os gráficos com os resultados da ZBB 2 - cidade de Santa Maria são mostrados na Figura 5.4.

Figura 5.4: Gráficos com os resultados da cidade de Santa Maria - ZBB 2



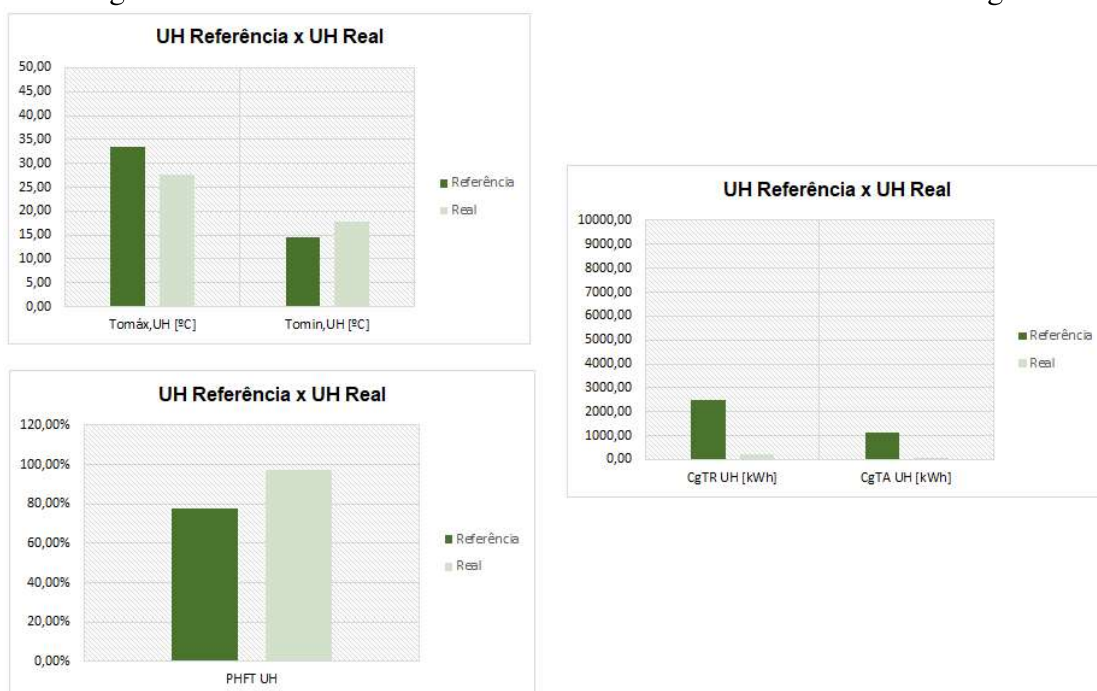
Fonte: Autor

Porto Alegre

Para a cidade de Porto Alegre, os resultados das simulações indicaram que a Unidade Real apresentou um desempenho térmico superior em relação à Unidade de Referência. O percentual de horas em que a Unidade Habitacional se manteve dentro da faixa de temperatura operativa pré-definida foi de 91,12% para a Unidade de Real, enquanto a Unidade de Referência apresentou um percentual de 77,94%. Além disso, a Carga Térmica Total anual consumida pela Unidade de Referência foi de 3.580 KWh, enquanto a Unidade Real consumiu 233 KWh, o que evidencia a maior eficiência energética da Unidade Real. Porto Alegre foi a sexta maior economia anual com eletricidade - R\$ 2.175,60.

Os gráficos com os resultados da ZBB 3 - cidade de Porto Alegre são mostrados na Figura 5.5.

Figura 5.5: Gráficos com os resultados da ZBB 3 - cidade de Porto Alegre



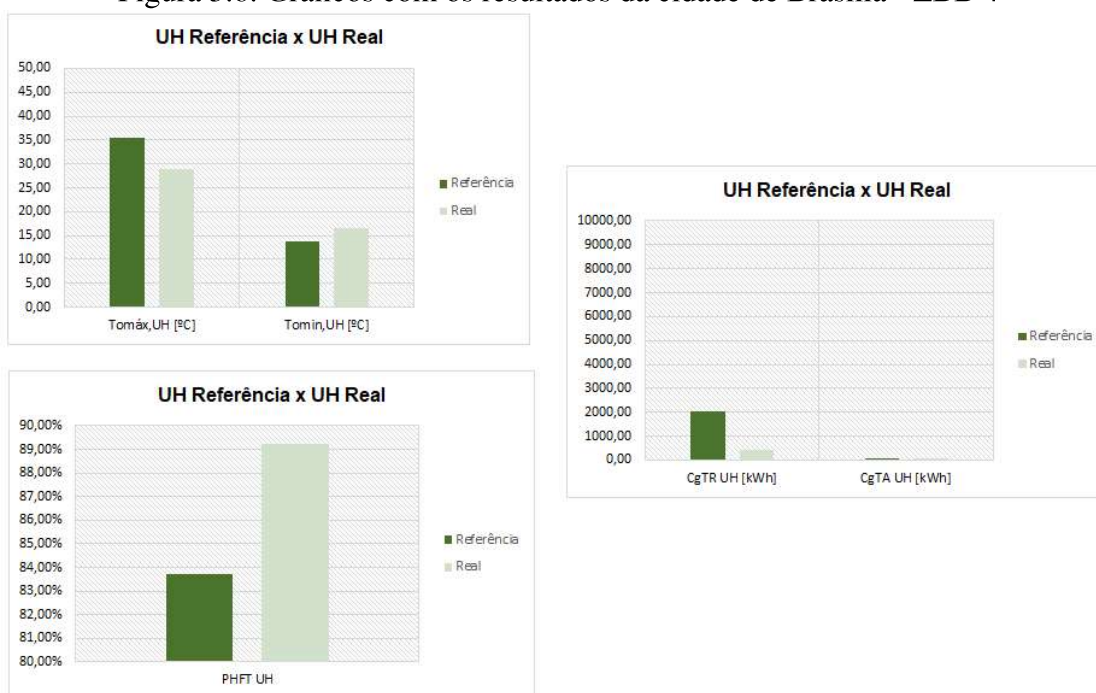
Fonte: Autor

Brasília

Para a cidade de Brasília, os resultados das simulações indicaram que a Unidade Real apresentou um desempenho térmico superior em relação à Unidade de Referência. O percentual de horas em que a Unidade Habitacional se manteve dentro da faixa de temperatura operativa pré-definida foi de 89,21% para a Unidade de Real, enquanto a Unidade de Referência apresentou um percentual de 83,69%. Além disso, a Carga Térmica Total anual consumida pela Unidade de Referência foi de 2.079 KWh, enquanto a Unidade Real consumiu 445 KWh, o que evidencia a maior eficiência energética da Unidade Real. Brasília apresentou o sétimo melhor resultado com uma economia anual de eletricidade de R\$ 1.062,41.

Os gráficos com os resultados da ZBB 4 - cidade de Brasília são mostrados na Figura 5.6.

Figura 5.6: Gráficos com os resultados da cidade de Brasília - ZBB 4



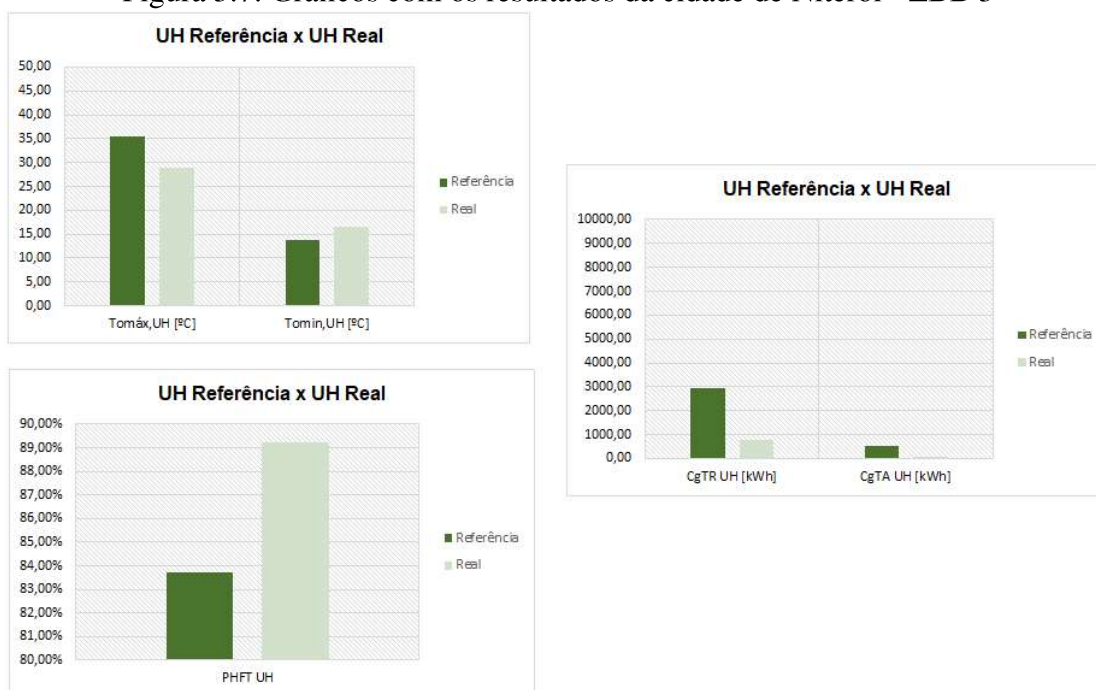
Fonte: Autor

Niterói

Para a cidade de Niterói, os resultados das simulações indicaram que a Unidade Real apresentou um desempenho térmico superior em relação à Unidade de Referência. O percentual de horas em que a Unidade Habitacional se manteve dentro da faixa de temperatura operativa pré-definida foi de 89,21% para a Unidade de Real, enquanto a Unidade de Referência apresentou um percentual de 83,69%. Além disso, a Carga Térmica Total anual consumida pela Unidade de Referência foi de 3.443 KWh, enquanto a Unidade Real consumiu 82 KWh, o que evidencia a maior eficiência energética da Unidade Real. Esses resultados colocam a cidade de Niterói na quita colocação em economia de eletricidade anual - R\$ 2.184,66. .

Os gráficos com os resultados da ZBB 5 - cidade de Niterói são mostrados na Figura 5.7.

Figura 5.7: Gráficos com os resultados da cidade de Niterói - ZBB 5



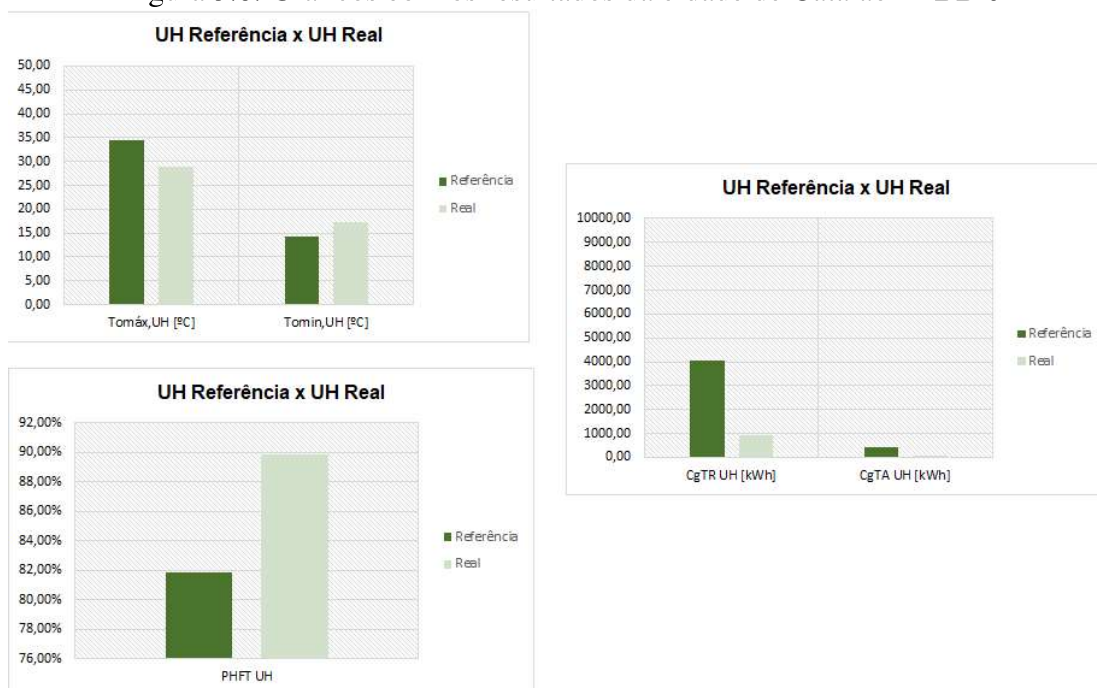
Fonte: Autor

Catalão

Para a cidade de Catalão, os resultados das simulações indicaram que a Unidade Real apresentou um desempenho térmico superior em relação à Unidade de Referência. O percentual de horas em que a Unidade Habitacional se manteve dentro da faixa de temperatura operativa pré-definida foi de 89,85% para a Unidade de Real, enquanto a Unidade de Referência apresentou um percentual de 81,87%. Além disso, a Carga Térmica Total anual consumida pela Unidade de Referência foi de 4.467 KWh, enquanto a Unidade Real consumiu 910 KWh, o que evidencia a maior eficiência energética da Unidade Real. Esses resultados apontam para a necessidade de investimentos em métodos construtivos mais eficientes do ponto de vista do desempenho termo energético na região, visando edificações mais econômicas e sustentáveis.

Os gráficos com os resultados da ZBB 6 - cidade de Catalão são mostrados na Figura 5.8.

Figura 5.8: Gráficos com os resultados da cidade de Catalão - ZBB 6



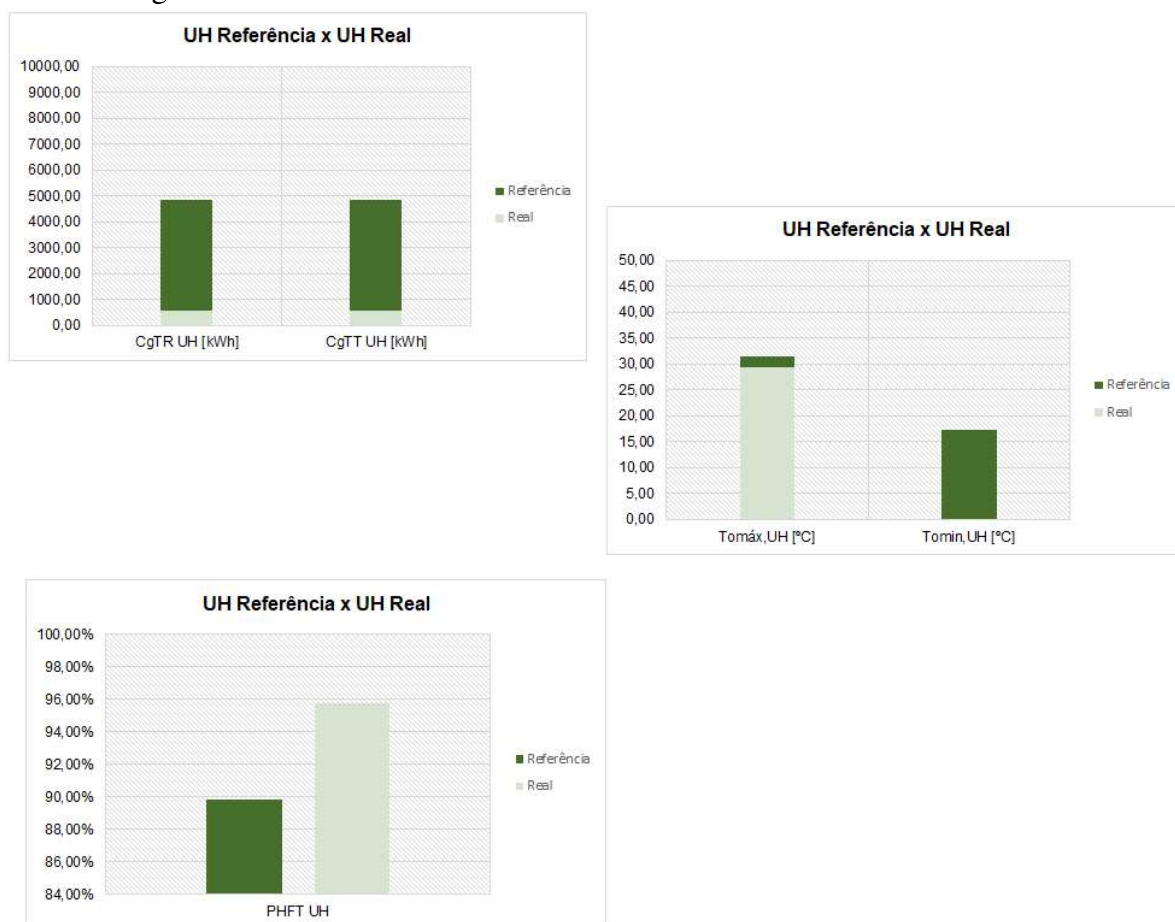
Fonte: Autor

Barreiras

Para a cidade de Barreiras, os resultados das simulações indicaram que a Unidade Real apresentou um desempenho térmico superior em relação à Unidade de Referência. O percentual de horas em que a Unidade Habitacional se manteve dentro da faixa de temperatura operativa pré-definida foi de 95,72% para a Unidade de Real, enquanto a Unidade de Referência apresentou um percentual de 89,80%. Além disso, a Carga Térmica Total anual consumida pela Unidade de Referência foi de 4.856 KWh, enquanto a Unidade Real consumiu 541 KWh, o que evidencia a maior eficiência energética da Unidade Real. Barreiras foi a terceira maior economia de eletricidade anual com uma redução de R\$ 2.805,17.

Os gráficos com os resultados da ZBB 7 - cidade de Barreiras são mostrados na Figura 5.9.

Figura 5.9: Gráficos com os resultados da cidade de Barreiras - ZBB 7



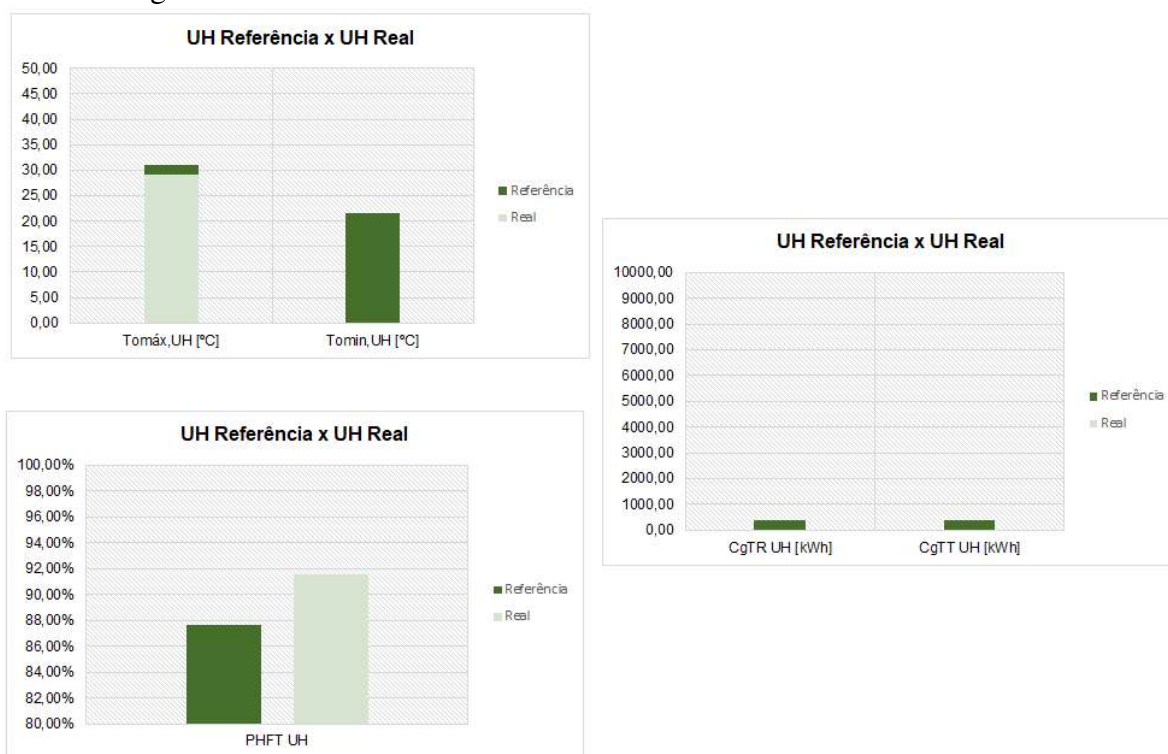
Fonte: Autor

Belém

Para a cidade de Belém, os resultados das simulações indicaram que a Unidade Real apresentou um desempenho térmico superior em relação à Unidade de Referência. O percentual de horas em que a Unidade Habitacional se manteve dentro da faixa de temperatura operativa pré-definida foi de 91,55% para a Unidade de Real, enquanto a Unidade de Referência apresentou um percentual de 87,60%. Além disso, a Carga Térmica Total anual consumida pela Unidade de Referência foi de 377 KWh, enquanto a Unidade Real não apresentou nenhum consumo, o que evidencia a maior eficiência energética da Unidade Real. Belém apresentou a menor redução do consumo de eletricidade anual entre todas as cidades analisada com o valor de R\$245,33.

Os gráficos com os resultados da ZBB 8 - cidade de Belém são mostrados na Figura 5.10.

Figura 5.10: Gráficos com os resultados da cidade de Belém - ZBB 8



Fonte: Autor

Esses resultados apontam para a necessidade de investimentos em métodos construtivos mais eficientes do ponto de vista do desempenho termo energético na maioria das regiões analisadas, visando obter edificações mais econômicas e sustentáveis.

5.2 Impacto dos aumentos das tarifas e do consumo de eletricidade no Brasil

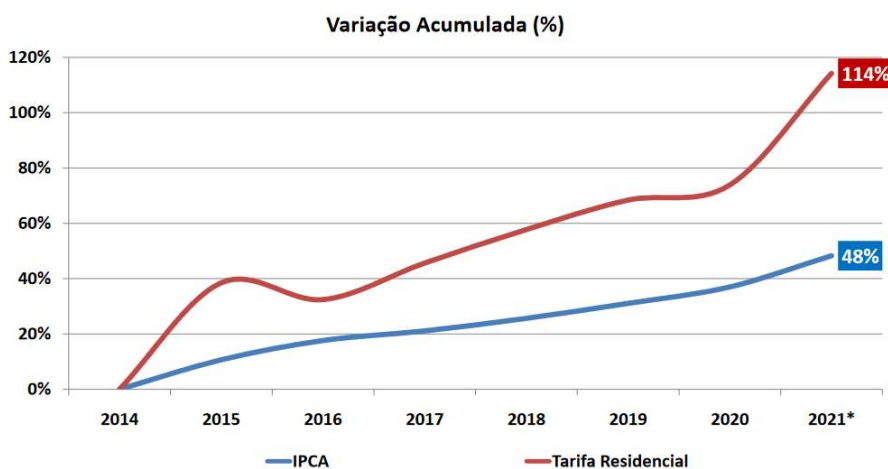
Considerando-se que o consumo de eletricidade residencial vem aumentando de acordo com os dados do relatório da EPE (EPE-MME 2022) mostrados na Figura 5.11 e que a tarifa de energia também tem crescido anualmente acima da inflação de acordo com dados divulgados pela Associação Brasileira dos Comercializadores de Energia (Impacto da Energia Elétrica no IPCA - ABRACEEL 2022), apontam que de 2015 a 2021 a tarifa residencial acumula alta de 114 %, ante 48 % de inflação no mesmo período, uma diferença de 137 % , como mostra a Figura 5.12.

Figura 5.11: Evolução Anual do Consumo de Energia Elétrica no Brasil



Fonte: EPE, 2022

Figura 5.12: Impacto da Energia Elétrica na Inflação
Impacto da Energia Elétrica na Inflação



Fonte: ABRACEEL, 2022

É importante ressaltar que as crises de escassez hídrica tem sido cada vez mais recorrentes no Brasil ao longo dos anos. Segundo a Mapbiomas a retração da superfície territorial brasileira coberta com água foi de 15,7% desde o início dos anos 90, caindo de quase 20 milhões de hectares para 16,6 milhões de hectares em 2020, Mapbiomas ([Superfície de água no Brasil reduz 15% desde o início dos anos 90 2023](#)), a Figura 5.13 mostra a perda de superfície d'água em nas nove mais importantes regiões hidrográficas do Brasil.

Figura 5.13: Nove regiões hidrográficas perderam superfície de água entre 1990 e 2020

Região Hidrográfica	1990 (ha)	2020 (ha)	Diferença	%
Amazônica	9.205.281	8.100.706	-1.104.575	-12%
Atlântico Leste	238.509	176.584	-61.925	-26%
Atlântico Nordeste Ocidental	483.787	416.508	-67.279	-14%
Atlântico Nordeste Oriental	443.936	339.708	-104.227	-23%
Atlântico Sudeste	246.057	209.883	-36.174	-15%
Atlântico Sul	477.223	435.663	-41.560	-9%
Paraguai	1.496.705	531.070	-965.635	-65%
Paraná	1.608.278	1.684.796	76.518	5%
Parnaíba	142.227	115.531	-26.697	-19%
São Francisco	832.115	706.746	-125.370	-15%
Tocantins-Araguaia	1.684.994	1.760.243	75.249	4%
Uruguai	247.122	277.952	30.830	12%

Fonte: MAPBIOMAS, 2022

5.3 Análise dos resultados consolidados

Com base nos valores de Carga Térmica Total anual obtidos nas simulações da edificação nas oito Zonas Bioclimáticas Brasileiras (ZBB) mostradas nas Figuras 5.14 (ZBB 1-4) e 5.15 (ZBB 5-8), calculou-se a economia gerada pela diferença entre a Carga Térmica Total (CgTT) da edificação de referência e a real feita em painéis monolíticos de EPS.

Figura 5.14: Resultados da Simulação ZBB 1-4

Parâmetros	Tabela Resumo das Simulações Realizadas ZBB 1-4							
	ZBB 1-Curitiba		ZBB2-Santa Maria		ZBB3-Porto Alegre		ZBB4-Brasília	
	Referência	Real	Referência	Real	Referência	Real	Referência	Real
PHFT UH	55,32%	70,39%	58,35%	74,50%	77,94%	91,12%	83,69%	89,21%
Tomáx UH (°C)	35,35	29,99	36,98	30,27	33,53	27,76	35,38	28,89
Tomin UH (°C)	8,5	12,62	9,55	13,23	14,45	17,73	13,89	16,64
CgTR UH (KWh)	3570,52	315,48	2688,85	819,5	2473	231,98	2037,89	443,24
CgTA UH (KWh)	3713,86	311,83	3162,75	236,49	1107	0,95	41,46	1,63
CgTT UH (KWh)	7284	627	5852	1056	3580	233	2079	445
Quantidade APP	4		Legenda 1	NA	Não se aplica			
Área APP	123,4		Legenda 2		Melhor resultado			

Fonte: Autor

Figura 5.15: Resultados da Simulação ZBB 5-8

Parâmetros	Tabela Resumo das Simulações Realizadas ZBB 5-8							
	ZBB5-Niterói		ZBB6-Catalão		ZBB7-Barreiras		ZBB8-Belém	
	Referência	Real	Referência	Real	Referência	Real	Referência	Real
PHFT UH	83,69%	89,21%	81,87%	89,85%	89,80%	95,72%	87,60%	91,55%
Tomáx UH (°C)	35,38	28,89	34,4	28,86	31,38	29,29	30,94	29,05
Tomin UH (°C)	13,89	16,64	14,24	17,43	17,4	NA	21,59	NA
CgTR UH (KWh)	2936,27	793,81	4050,07	905,58	4856,26	540,62	377,43	0
CgTA UH (KWh)	506,61	16,64	417,04	4,69	0	0	0	0
CgTT UH (KWh)	3443	82	4467	910	4856	541	377	0
Quantidade APP	4		Legenda 1	NA	Não se aplica			
Área APP	123,4		Legenda 2		Melhor resultado			

Fonte: Autor

Na Tabela 5.2 está mostrada a economia anual de eletricidade, que seria gasta com a carga térmica tanto com aquecimento, como resfriamento da edificação real usando-se para isso o preço do Kilowatt hora (KWh) da tarifa da bandeira vermelha 1 (faixa média) divulgada pela ANEEL (ANEEL 2022). Podemos ver que na cidade de Curitiba temos a maior economia (R\$ 4.327,10) e na cidade de Belém a menor delas (R\$ 245,33).

Tabela 5.2: Valores anuais economizados com eletricidade na edificação real construída com painéis monolíticos de EPS

Valor em reais economizado na edificação real				
UF	Cidade	KWh	Preço KWh	Valor Anual R\$
PR	Curitiba	6,657	0.65	4,327
RS	Santa Maria	4,796	0.65	3,117
RS	Porto Alegre	3,347	0.65	2,176
DF	Brasília	1,634	0.65	1,062
RJ	Niterói	3,361	0.65	2,185
GO	Catalão	3,557	0.65	2,312
BA	Barreiras	4,316	0.65	2,805
PA	Belém	377	0.65	245

Fonte: Autor - tarifas ANEEL, 2022

Na Figura 5.16 estão mostrados os diferentes níveis de atendimento aos critérios da NBR 15575 nas oito Zonas Bioclimáticas Brasileiras (ZBB). Podemos constatar que a edificação construída com painéis monolíticos de EPS alcançou o nível superior pelos critérios estabelecidos pela norma NB 15.575 em todas as Zonas Bioclimáticas Brasileiras.

Figura 5.16: Resumo do nível de atendimento aos critérios da NBR 15.575 nas cidades escolhidas

Resumo do nível de atendimento dos requisitos da NBR 15575 nas cidades escolhidas									
ZBB		1	2	3	4	5	6	7	8
Nível de Atendimento	Variáveis	Curitiba	Santa Maria	Porto Alegre	Brasília	Niterói	Catalão	Barreiras	Belém
Mínimo	PHFT UH								
	Tomáx								
	Tomín								
Intermediário	PHFT UH								
	CgTT								
Superior	PHFT UH								
	CgTT								
Nível da Edificação	Mínimo								
	Intermediário								
	Superior								

Legenda	Atende	Não Atende	Não Se Aplica
---------	--------	------------	---------------

Fonte: Autor

É importante ressaltar que a análise feita por (SORGATO et al. 2014) a respeito dos procedimentos de simulação simplificada proposto na NBR 15575-1 que desconsidera o efeito do piso no resultado simulado, mostra que se fosse considerada a influência da temperatura do solo o resultado final poderia ser alterado.

Conclusão e considerações finais

Diante do quadro de crise no abastecimento de energia elétrica, aumentar o desempenho térmico das edificações ajuda a diminuir os gastos com eletricidade para manter a edificação dentro da zona de conforto térmico aceitável. Portanto, adotar materiais e métodos que resultem em aumento da eficiência no desempenho térmico das edificações torna-se cada vez mais relevante.

Este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho térmico de uma edificação residencial unifamiliar construída com painéis monolíticos de EPS, por meio de simulação computacional, na cidade de Brasília, na Zona Bioclimática Brasileira 4. Foi constatado que a edificação atende ao nível de desempenho térmico superior de acordo com os parâmetros, critérios e métodos previstos na norma NBR 15575-1 (ABNT 2021). Também foi avaliado o desempenho térmico nas demais Zonas Bioclimáticas, concluindo-se que esse método construtivo é recomendado para todas as Zonas Bioclimáticas Brasileiras, alcançando um nível de desempenho superior segundo os critérios normativos.

O método de construção com painéis monolíticos de EPS usado na edificação da Unidade Habitacional analisada mostrou-se mais eficaz, econômico e sustentável do que a construção em alvenaria convencional do ponto de vista do desempenho térmico. Isso resultou em considerável redução do custo com eletricidade que seria gasta com a carga térmica de aquecimento e resfriamento, para manter a edificação dentro da zona operativa prevista na norma NBR 15575-1 (ABNT 2021), sendo que as maiores economias ocorrem nas zonas bioclimáticas de clima mais frio.

Considerando-se uma tarifa média na faixa vermelha 1 de consumo de energia elétrica (R\$ 0,65 por KWh) praticada em 2022 pela ANEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), foram analisados os resultados de economia de eletricidade anual em diferentes cidades do país. O estudo indicou que a cidade de Curitiba (ZBB 1) apresentou a maior economia anual de energia elétrica, com uma redução de 6.657 KWh, o que corresponde a um valor monetário de R\$ 4.327,10. Em seguida, aparecem as cidades de Santa Maria (ZBB 2), Barreiras (ZBB 7), Catalão (ZBB 6), Niterói (ZBB 5), Porto Alegre (ZBB 3), Brasília (ZBB 4) e Belém (ZBB 8), com reduções progressivamente menores na ordem listada. Os resultados sugerem que a adoção de estratégias de eficiência energética pode

gerar uma economia significativa de energia elétrica e redução de custos, especialmente em regiões com tarifas mais elevadas.

Conclui-se que a avaliação do desempenho térmico de outros métodos construtivos com EPS existentes no mercado brasileiro deve ser considerada em trabalhos futuros. Essa análise pode ser realizada por meio de simulações computacionais, seguindo os procedimentos e critérios da NBR 15.575-1 ([ABNT 2021](#)) e NBR 15.220 ([ABNT 2005](#)), a fim de se verificar o potencial dessas técnicas na obtenção de um desempenho térmico superior, resultando em economia de energia elétrica e redução de custos operacionais.

Referências Bibliográficas

[ABNT 2005]ABNT. *Desempenho térmico de edificações*. São Paulo, Brasil, 2005. Disponível em: <<http://www.abnt.org.br/>>.

[ABNT 2013]ABNT. *Desempenho de edificações habitacionais*. São Paulo, Brasil, 2013. Disponível em: <<http://www.abnt.org.br/>>.

[ABNT 2021]ABNT. *Desempenho de edificações habitacionais*. março 2021. [Online; acessado 2. Ago. 2022]. Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx>>.

[ABNT 2022]ABNT, A. B. de N. T. *Associação Brasileira de Normas Técnicas*. [S.l.], Julho 2022. Disponível em: <<http://www.abnt.org.br/>>.

[ANEEL 2022]ANEEL. *Valores das bandeiras tarifárias são atualizados para o período 2022-2023*. agosto 2022. [Online; acessado 18. Ago. 2022]. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2022/valores-das-bandeiras-tarifarias-sao-atualizados-para-o-periodo-2022-2023>>.

[ASHRAE55 2017]ASHRAE55. *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. Atlanta, USA, 2017. Disponível em: <<http://www.ashrae.org/>>.

[AYOADE 1996]AYOADE, J. Classificações climáticas e regionais. In: _____. *Introdução á climatologia para os trópicos*. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. cap. 11, p. 232–234.

[BARBOSA K. H.; GUIZI 2017]BARBOSA K. H.; GUIZI, E. Proposta de calibração de um modelo computacional de uma tipologia de residência unifamiliar em Goiânia. In: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, XIV., 2017, Curitiba. *Anais do XIV ENCAC*. Balneário Camboriú: ANTAC, 2017.

[CAIXA 2022]CAIXA. *Selo Casa Azul CAIXA*. 2022.

[CLIMATE CONSULTANT 6.0 2022]CLIMATE CONSULTANT 6.0. julho 2022. [Online; accessed 22. Jul. 2022]. Disponível em: <<https://climate-consultant.informer.com/6.0>>.

- [CLIMATE DATA CLIMA BRASIL 2022]CLIMATE DATA CLIMA BRASIL. julho 2022. [Online; accessed 16. Jul. 2022]. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil-114>>.
- [DANIEL et al. 2017]DANIEL, L. et al. Comfort-based performance assessment methodology for low energy residential buildings in Australia. *Building and Environment*, Elsevier, v. 111, p. 169–179, 2017.
- [ENERGYPLUS 2022]ENERGYPLUS. março 2022. [Online; accessed 22. Jul. 2022]. Disponível em: <<https://energyplus.net>>.
- [EPE-MME 2022]EPE-MME. Balanço energético nacional: Relatório síntese, ano base 2021. *Rio de Janeiro*, 2022.
- [EPSBRASIL 2022]EPSBRASIL. *EPS Brasil - Saiba como montar os painéis monolíticos de EPS na obra - Poliestireno Expansível Comissão Setorial*. setembro 2022. [Online; acessado 8. set. 2022]. Disponível em: <<https://www.epsbrasil.eco.br/noticia/view/96/saiba-como-montar-os-paineis-monoliticos-de-eps-na-obra.html>>.
- [GIVONI 1998]GIVONI, B. *Climate considerations in building and urban design*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 1998.
- [Impacto da Energia Elétrica no IPCA - ABRACEEL 2022]IMPACTO da Energia Elétrica no IPCA - ABRACEEL. fev. 2022. [Online; acessado 16. Jan. 2023]. Disponível em: <<https://abraceel.com.br/biblioteca/estudos/2022/02/estudo-abraceel-impacto-da-energia-eletrica-no-ipca>>.
- [INMET 2022]INMET, G. F. *INMET-Instituto Nacional de Meteorologia. Brasil*. [S.l.], 2022. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br>>.
- [Inércia Térmica para Aquecimento - ProjetEEE 2023]INÉRCIA Térmica para Aquecimento - ProjetEEE. fev. 2023. [Online; acessado 13. Feb. 2023]. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/projeteee/estrategia/inercia-termica-para-aquecimento>>.
- [LABEEE 2022]LABEEE. *LABEEE - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações*. julho 2022. [Online; accessed 17. Jul. 2022]. Disponível em: <<https://labeee.ufsc.br>>.
- [LABEEE 2022]LABEEE. *NBR 15575 - 2021 - Desempenho térmico - LABEEE*. julho 2022. [Online; accessed 17. Jul. 2022]. Disponível em: <<https://labeee.ufsc.br/NBR15575-2020>>.

- [LAMBERTS e PAPST 2002]LAMBERTS, R.; PAPST, A. L. Comparação do desempenho térmico de três ambientes residenciais naturalmente ventilados em Florianópolis, sul do Brasil. In: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2002, Curitiba. *Anais do ENTAC*. Curitiba: ANTAC, 2002.
- [NORMAIS 2022]NORMAIS, G. F. I. *Instituto Nacional de Meteorologia - INMET*. [S.l.], ago 2022. [Online; accessed 30. Aug. 2022]. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/normais>>.
- [OPENSTUDIO 2022]OPENSTUDIO. *OpenStudio Coalition User Docs*. junho 2022. [Online; accessed 3. Aug. 2022]. Disponível em: <<https://openstudiocoalition.org>>.
- [OPENSTUDIOCOALITION 2022]OPENSTUDIOCOALITION. *openstudio-sketchup-plugin*. julho 2022. [Online; accessed 16. Jul. 2022]. Disponível em: <<https://github.com/openstudiocoalition/openstudio-sketchup-plugin/releases>>.
- [ROYAPOOR e ROSKILLY 2015]ROYAPOOR, M.; ROSKILLY, T. Building model calibration using energy and environmental data. *Energy and Buildings*, Elsevier, Holanda, v. 94, n. 94, p. 109–120, 2015. ISSN 0378-7788.
- [SKETCHUP PRO 2022]SKETCHUP PRO. julho 2022. [Online; accessed 22. Jul. 2022]. Disponível em: <<https://www.sketchup.com/node/4446>>.
- [SORGATO et al. 2014]SORGATO, M. J. et al. Análise do procedimento de simulação da nbr 15575 para avaliação do desempenho térmico de edificações residenciais. *Ambiente Construído*, SciELO Brasil, v. 14, p. 83–101, 2014.
- [SORGATO et al. 2012]SORGATO, M. J. et al. Desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares ventiladas naturalmente. 2012.
- [Superfície de água no Brasil reduz 15% desde o início dos anos 90 2023]SUPERFÍCIE de água no Brasil reduz 15% desde o início dos anos 90. jan. 2023. [Online; acessado 16. Jan. 2023]. Disponível em: <<https://brasil.mapbiomas.org/superficie-de-agua-no-brasil-reduz-15-desde-o-inicio-dos-anos-90>>.
- [TEIXEIRA 2020]TEIXEIRA, C. A. *Aplicação do método bottom-up para estimativa de usos finais de energia elétrica no setor residencial brasileiro*. 2020. [Online; accessed 18. Oct. 2022]. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/216471>>.
- [TORRES 2015]TORRES, D. A. *Desempenho Térmico de habitações populares em Alagoas: alternativas para adequações climáticas*. 144 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e urbanismo) — Universidade Federal de Alagoas, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Maceió, 2015.

[WIT e AUGENBROE 2002]WIT, S. d.; AUGENBROE, G. Analysis of uncertainty in building design evaluations and its implications. *Energy and Buildings*, Holanda, v. 111, n. 34, p. 951–958, 2002.

[World Maps of Köppen-Geiger climate classification 2019]WORLD Maps of Köppen-Geiger climate classification. jan. 2019. [Online; acessado 19. Feb. 2023]. Disponível em: <<http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at>>.

Panta baixa

