



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

SABRINA APARECIDA BORGES

**CONSTRUÇÃO EM TAIPA: SIMULAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO EM
DIFERENTES ZONAS BIOCLIMÁTICAS A PARTIR DA CARACTERIZAÇÃO
EXPERIMENTAL**

CATALÃO(GO)
2024



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CATALÃO

FACULDADE DE ENGENHARIA

Av. Dr. Lamartine Pinto de Avelar, número 1120, - Bairro Setor Universitário, Catalão/GO, CEP 75704-020
Telefone: - - <https://www.ufcat.edu.br>

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA)

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DE TESES E DISSERTAÇÕES DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE CATALÃO (UFCAT)

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Catalão (UFCAT) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFCAT), 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/UFCAT é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o(a) autor(a) e o(a) orientador(a) 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 ou Tese? Dissertação

2. Nome completo do autor: **SABRINA APARECIDA BORGES**

Nome completo do orientador: **ED CARLO ROSA PAIVA**

3. Título do trabalho

Título: **CONSTRUÇÃO EM TAIPA: SIMULAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO EM DIFERENTES ZONAS BIOCLIMÁTICAS A PARTIR DA CARACTERIZAÇÃO EXPERIMENTAL**

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

Concorda com a liberação total do documento: 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, Orientador(a)**, em 06/12/2024, às 10:18, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Sabrina Aparecida Borges, Usuário Externo**, em 06/12/2024, às 11:17, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufcat.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0144484** e o código CRC **90DCF96F**.

SABRINA APARECIDA BORGES

**CONSTRUÇÃO EM TAIPA: SIMULAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO EM
DIFERENTES ZONAS BIOCLIMÁTICAS A PARTIR DA CARACTERIZAÇÃO
EXPERIMENTAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, da Faculdade de Engenharia, da Universidade Federal de Catalão (UFCAT) , como requisito para obtenção do título de Mestra em Engenharia Civil. Área de concentração: Estruturas e Construção Civil. Linha de pesquisa: Gestão, Tecnologia e Sustentabilidade na Construção Civil.

Orientador: Prof. Dr. Ed Carlo Rosa Paiva

**CATALÃO (GO)
2024**

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

Borges, Sabrina Aparecida

Construção em taipa : simulação do desempenho térmico em diferentes zonas bioclimáticas a partir da caracterização experimental / Sabrina Aparecida Borges. - 2024.

xvi, 108 f.

Orientador: Prof. Dr. Ed Carlo Rosa Paiva.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Catalão, Faculdade de Engenharia, Catalão, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Catalão, 2024.

Bibliografia. Anexos.

Inclui lista de figuras, lista de tabelas.

1. Eficiência energética. 2. Open Studio. 3. Taipa de pilão. 4. Sustentabilidade. I. Paiva, Ed Carlo Rosa, orient. II. Título.

CDU 624



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CATALÃO
Av. Dr. Lamartine Pinto de Avelar, número 1120, - Bairro Setor Universitário, Catalão/GO, CEP 75704-020
Telefone: - - <https://www.ufcat.edu.br>

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Ata nº 21 da sessão de Defesa de Dissertação de **SABRINA APARECIDA BORGES**, que confere o título de Mestra em Engenharia Civil, na área de concentração em Estruturas e Construção Civil.

Aos nove dias do mês de agosto de dois mil e vinte e quatro a partir das 16 horas, na ala virtual do *Google Meet*, realizou-se a sessão pública de Defesa de Dissertação intitulada “**CONSTRUÇÃO EM TAIPA: ESTUDO DE CASO CONSIDERANDO O DESEMPENHO TÉRMICO E A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**”. Os trabalhos foram instalados pelo Orientador, **Professor Doutor ED CARLO ROSA PAIVA (PPGEC/UFCA)** com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: **Professor Doutor HEBER MARTINS DE PAULA (PPGEC/UFCA)**, membro titular interno; e do Professor Doutor **ANDRE LUIS DE ARAUJO (FAUED/ UFU)**, membro titular externo. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Dissertação, tendo sido a candidata **aprovada** 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 nove dias do mês de agosto de dois mil e vinte e quatro.

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA

CONSTRUÇÃO EM TAIPA: SIMULAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO EM DIFERENTES ZONAS BIOCLIMÁTICAS A PARTIR DA CARACTERIZAÇÃO EXPERIMENTAL



Documento assinado eletronicamente por **ED CARLO ROSA PAIVA, Orientador(a)**, em 07/03/2025, às 17:30, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **André Luís de Araujo, Usuário Externo**, em 08/03/2025, às 09:16, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **HEBER MARTINS DE PAULA, Professor(a) do Magistério Superior**, em 08/03/2025, às 12:24, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufcat.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0171495** e o código CRC **2D89F2C8**.

AGRADECIMENTOS

Nesses anos de mestrado, de muito estudo, esforço e empenho, gostaria de agradecer a algumas pessoas que me acompanharam e foram fundamentais para a realização deste sonho.

Primeiramente agradeço a Deus por mais essa oportunidade.

Ao Prof. Dr. Ed Carlo Rosa Paiva, meu orientador, que esteve em todos os momentos deste mestrado me orientando e incentivando, além é claro de não me deixar desistir nos momentos de dificuldade. E, principalmente, obrigada por ter acreditado e depositado sua confiança em mim e em meu trabalho.

Aos meus pais João e Aparecida, a minha irmã Caroline e meu namorado Diogo pela compreensão, ao serem privados em muitos momentos de minha companhia e atenção, e pelo apoio, me estimulando a não desistir. Obrigada por sempre desejarem o meu melhor.

Ao meu cachorro Theodoro que todos os dias esteve sentado ao meu lado durante as escritas deste trabalho e me fez companhia principalmente nos momentos de dificuldade.

Aos técnicos dos laboratórios de geografia Cleomar e de engenharia civil Sérgio que abdicaram de seu tempo para me auxiliar nos testes de análise de solo.

Ao professor Adriano Lopes que me ensinou e orientou a utilizar o Open Studio e me ajudou com suas palavras amigas.

Aos meus colegas de mestrado que dividiram suas experiências e foram apoio nos momentos de tribulação.

A Universidade Federal de Catalão e todos seus colaboradores que contribuíram com meu estudo e com meu bem-estar.

RESUMO

O uso eficiente de energia elétrica não significa apenas a redução em relação a custos, mas também na redução nos impactos ambientais. Além disto, a eficiência energética muitas vezes está ligada a melhoria na qualidade do ambiente utilizado. Visando incentivar a utilização de alternativas mais sustentáveis o trabalho trouxe como proposta a análise da taipa de pilão solo cimento como envoltória para residências unifamiliares, nas oito zonas bioclimáticas brasileiras, de forma a verificar qual sua eficiência energética em comparação com a envoltória de alvenaria. Consequentemente o estudo traz questões de melhores temperaturas dentro do ambiente interno, verificando qual material consegue manter temperaturas mais altas ou mais baixas e se a taipa de pilão possui as mesmas características térmicas nas diferentes zonas bioclimáticas. O trabalho foi baseado em análise de campo com a verificação do estudo de caso *in loco*, análise de caracterização do material em laboratório e utilização do plugin *Open Studio* para simulação, além das análises de trabalhos de outros autores. Quanto aos resultados, o estudo demonstrou o atendimento aos critérios mínimos (definidos pela NBR 15575:2021) da edificação de taipa de pilão (solo-cimento) em relação a edificação de alvenaria. Apesar de não haver uma grande disparidade entre os resultados, a taipa de pilão solo cimento se apresentou melhor opção em toda as zonas bioclimáticas, levando em consideração a eficiência energética

Palavras-chave: Eficiência energética. Open Studio. Taipa de pilão. Sustentabilidade.

ABSTRACT

The efficient use of electrical energy not only means reducing costs, but also reducing environmental impacts. Furthermore, energy efficiency is often linked to improving the quality of the environment used. Aiming to cultivate the use of more sustainable alternatives, the work proposed the analysis of soil-cement rammed earth as an envelope for single-family homes, in the eight Brazilian bioclimatic zones, in order to verify its energy efficiency in comparison with the masonry envelope. . Consequently, the study raises questions about better temperatures within the internal environment, verifying which material can heat higher or lower temperatures and whether rammed earth has the same thermal characteristics in different bioclimatic zones. The work was based on field analysis with verification of the on-site case study, material characterization analysis in the laboratory and use of the Open Studio plugin for simulation, in addition to analysis of works by other authors. As for the results, the study demonstrated compliance with the minimum criteria (defined by NBR 15575:2021) for rammed earth (soil-cement) buildings in relation to masonry buildings. Despite there not being a great disparity between the results, the cement soil rammed earth presented itself as the best option in all bioclimatic zones, taking energy efficiency into account.

Keywords: Energy efficiency. Open the Studio. Rammed earth. Sustainability

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-Método de Construção em Taipa de Pilão.....	22
Figura 2- Ambiente de relaxamento em Taipa de Pilão - Casa Cor Rio de Janeiro 2018.....	23
Figura 3 - Evolução dos tipos de construção em terra no Brasil.....	24
Figura 4 - Participação de cada setor no consumo de energia elétrica em 2023.....	28
Figura 5 - Atividades físicas e respectivos metabolismo segundo ISO 7730.....	29
Figura 6 – Resistência térmica de algumas vestimentas.....	30
Figura 7 – Diagrama de conforto térmico.....	31
Figura 8 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro.....	33
Figura 9 - Fluxograma metodologia.....	34
Figura 10 - Parede taipa de pilão estudo de caso.....	35
Figura 11 - Construção edificação taipa de pilão.....	36
Figura 12 - Localização edificação em relação à cidade de Caldas Novas.....	37
Figura 13 - Localização Estudo de Caso.....	38
Figura 14 - Planta térrea e pavimento superior (consecutivamente).....	39
Figura 15 - maquete 3D - Casa taipa de pilão solo cimento (estudo de caso).....	40
Figura 16 - Solo em estudo e material na estufa.....	41
Figura 17 - Jogo de Peneiras Granulométricas.....	42
Figura 18 - Pesagem do material.....	42
Figura 19 - Experimento Sedimentação (proveta, densímetro).....	43
Figura 20 - Peneiramento Fino.....	44
Figura 21 - Curva Granulométrica.....	47
Figura 22 – Materiais Open Studio.....	49

Figura 23 – Pesagem Corpo de Prova.....	51
Figura 24- Gráfico de temperaturas da cidade de Pires do Rio -GO (2016).....	54
Figura 25 - Gráfico de temperatura e zona de conforto da cidade de Pires do Rio -GO (2016).....	55
Figura 26 - Gráfico de umidade relativa da cidade de Pires do Rio-GO (2016).....	56
Figura 27- Gráfico Rosa dos Ventos da cidade de Pires do Rio -GO (2016).....	56
Figura 28- Condições de conforto Zona Bioclimática 4.....	57
Figura 29- Estratégias Bioclimáticas Zona Bioclimática 4	57
Figura 30- Gráfico das temperaturas da cidade de Curitiba- PR (2016).....	58
Figura 31 - Gráfico de temperatura e zona de conforto cidade de Curitiba- PR (2016).....	59
Figura 32 - Gráfico de umidade relativa cidade de Curitiba- PR (2016).....	59
Figura 33 - Gráfico Rosa dos Ventos da cidade de Curitiba-PR (2016).....	60
Figura 34 – Condições de Conforto Zona Bioclimática 1.....	60
Figura 35 – Estratégias Bioclimáticas Zona Bioclimática 1.....	61
Figura 36 - Gráfico das temperaturas cidade de Santa Maria - RS (2016).....	62
Figura 37 – Gráfico de temperatura e zona de conforto cidade de Santa Maria - RS (2016)...	63
Figura 38 – Gráfico de umidade relativa cidade de Santa Maria - RS (2016).....	63
Figura 39 – Gráfico rosa dos ventos cidade de Santa Maria - RS (2016).....	64
Figura 40 – Condições de conforto.....	64
Figura 41 – Estratégias Bioclimáticas.....	65
Figura 42 – Gráfico de temperaturas cidade de São Paulo - SP (2016)	66
Figura 43 – Gráfico de temperatura e zona de conforto cidade de São Paulo - SP (2016)	66
Figura 44 – Gráfico de umidade relativa cidade de São Paulo - SP (2016)	67

Figura 45 – Gráfico rosa dos ventos cidade de São Paulo - SP (2016).....	67
Figura 46 – Condições de conforto Zona Bioclimática 3.....	68
Figura 47 – Estratégias Bioclimáticas Zona Bioclimática 3.....	68
Figura 48 – Gráfica das temperaturas da cidade de Niterói - RJ (2016).....	69
Figura 49 – Gráfico de temperatura e zona de conforto cidade de Niterói-RJ (2016).....	70
Figura 50 – Gráfico de umidade relativa cidade de Niterói-RJ (2016).....	70
Figura 51 – Gráfico rosa dos ventos cidade de Niterói-RJ (2016).....	71
Figura 52 – Condições de conforto Zona Bioclimática 5.....	71
Figura 53 – Estratégias Bioclimáticas Zona Bioclimática 5.....	72
Figura 54 – Gráfico das temperaturas cidade de Goiânia-Go (2016).....	72
Figura 55 – Gráfico temperatura e zona de conforto cidade de Goiânia-Go (2016).....	73
Figura 56 – Gráfico de umidade relativa cidade de Goiânia-Go (2016).....	74
Figura 57 – Gráfico rosa dos ventos cidade de Goiânia-Go (2016).....	74
Figura 58 – Condições de conforto Zona Bioclimática 6.....	75
Figura 59 – Estratégias Bioclimáticas Zona Bioclimática 6.....	75
Figura 60 – Gráfico das temperaturas cidade de Cuiabá - MT (2016)	76
Figura 61 – Gráfico temperatura e zona de conforto cidade de Cuiabá-MT (2016)	76
Figura 62 – Gráfico de umidade relativa cidade de Cuiabá-MT (2016).....	77
Figura 63 – Gráfico rosa dos ventos cidade de Cuiabá-MT (2016).....	78
Figura 64 – Condições de conforto Zona Bioclimática 7.....	78
Figura 65 – Estratégias Bioclimáticas Zona Bioclimática 7.....	79
Figura 66 – Gráfico das temperaturas cidade de Belém-PA (2016).....	79
Figura 67 – Gráfico de temperatura e zona de conforto cidade de Belém-PA (2016).....	80

Figura 68 – Gráfico de umidade relativa cidade de Belém-PA (2016).....	81
Figura 69 – Gráfico rosa dos ventos cidade de Belém-PA (2016).....	81
Figura 70 – Condições de conforto Zona Bioclimática 8.....	82
Figura 71 – Modelagem Zonas Térmicas.....	82
Figura 72 – Modelagem Subsuperfície e Grupo de Sombreamento.....	83
Figura 73– Modelagem Subsuperfície e Grupo de Sombreamento.....	83
Figura 74 – Análise de Desempenho Térmico.....	85
Figura 75 – Bloco cerâmico de 8 furos.....	85
Figura 76 – Análise de Desempenho Térmico.....	86
Figura 77 - Procedimento de Avaliação de Desempenho Térmico.....	90
Figura 78 – Planta térrea e pavimento superior (consecutivamente).....	91
Figura 79 - Análise de desempenho térmico de acordo com NBR 15575:2021.....	92

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados Peneiramento Grosso.....	44
Tabela 2 - Dados Sedimentação.....	44
Tabela 3 – Dados Peneiramento Fino	45
Tabela 4 - Dados Umidade.....	45
Tabela 5 - Quantidade de Solo Experimento.....	45
Tabela 6 – Tabela Percentuais Retidos e Percentuais Passantes Acumulados- Peneiramento Grosso.....	46
Tabela 7 – Tabela Percentuais Retidos e Percentuais Passantes Acumulados- Peneiramento Fino.....	46
Tabela 8 – Porcentagem de Solo da Amostra.....	47
Tabela 9- Propriedade Térmica de acordo com NBR 15520/2007.....	49
Tabela 10- Propriedades térmicas da taipa de pilão (solo+cimento+cal)	53
Tabela 11 – Faixa de Temperatura para o cálculo de PHFT.....	88
Tabela 12- Zonas Bioclimáticas com suas respectivas cidades escolhidas para os estudos.....	90
Tabela 13- Dados de open studio referentes as oito zonas bioclimáticas brasileiras.....	93
Tabela 14- Dados de open studio referentes as oito zonas bioclimáticas brasileiras.....	94
Tabela 15- Critérios de análise NBR 15575:2021 referente a unidade habitacional real e referência.....	95
Tabela 16- Critérios de análise NBR 15575:2021 referente a unidade habitacional real e referência.....	96

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
1.1 OBJETIVOS.....	16
1.1.1 Objetivo Geral.....	16
1.1.2 Objetivos Específicos.....	16
1.2 JUSTIFICATIVA.....	16
2. REVISÃO SISTEMÁTICA.....	18
2.1 MÉTODOS CONSTRUTIVOS.....	18
2.1.1 Alvenaria.....	19
2.1.2 Construções em Terra.....	20
2.1.3 Taipa de Pilão.....	21
2.1.3.1 Taipa de Pilão Pura.....	25
2.1.3.2 Taipa de Pilão com Adição de Cimento.....	25
2.2 EFICIÊNCIA TÉRMICA E ENERGÉTICA.....	26
2.3 CONFORTO TÉRMICO.....	29
2.4 SIMULAÇÃO BIOCLIMÁTICA.....	31
2.5 ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO BRASILEIRO.....	32
3.0 METODOLOGIA E FORMA DE ANÁLISE DOS RESULTADOS	34
3.1 CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO.....	36
3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS.....	40
3.2.1 Determinação granulométrica do solo.....	40
3.2.2 Definição dos dados a serem utilizados no Open Studio.....	48
3.3 DEFINIÇÃO DOS CONTEXTOS BIOCLIMÁTICOS.....	53
3.3.1 Zona bioclimática 4.....	53
3.3.2 Zona bioclimática 1.....	57
3.3.3 Zona bioclimática 2.....	61
3.3.4 Zona bioclimática 3.....	65
3.3.5 Zona bioclimática 5.....	69
3.3.6 Zona bioclimática 6.....	72
3.3.7 Zona bioclimática 7.....	75
3.3.8 Zona bioclimática 8.....	79

3.4	MODELAGEM E SIMULAÇÃO OPEN STUDIO.....	82
3.5	PARÂMETROS DE ANÁLISE DE DESEMPENHO TÉRMICO.....	86
3.5.1	Cálculo do percentual de horas de ocupação dentro de uma faixa de temperatura operativa (PHFT).....	88
3.5.2	Identificação das temperaturas operativas anuais máxima e mínima, durante a ocupação.....	88
3.5.3	Cálculo de carga térmica total (refrigeração+aquecimento)	88
3.5.4	Níveis de desempenho térmico.....	89
3.5.5	Procedimento de análise.....	90
4.0	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	93
5.0	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	98
	ANEXOS.....	99
	REFERÊNCIAS.....	100

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

A escassez de recursos naturais não renováveis e as mudanças climáticas têm levado diferentes setores da economia a buscarem alternativas sustentáveis em seus processos de produção, assim como dos serviços e produtos ofertados. Além disso, há uma crescente preocupação ecológica, onde o mercado vê a necessidade de redução do consumo de energia, uso adequado da água, menor utilização de recursos não renováveis e com um desenvolvimento urbano planejado, focado no bem-estar e na qualidade de vida (CBIC, 2011).

Neste sentido a cadeia produtiva da construção civil tem papel estratégico. O setor vem buscando novas técnicas construtivas para satisfazerem as novas exigências como economia, sustentabilidade e racionalização. A adoção de técnicas sustentáveis pode representar um reforço ao movimento mundial para a redução das emissões de gases de efeito estufa, o aumento da eficiência energética e a racionalização do consumo de materiais não renováveis. Esses ganhos refletem diretamente na qualidade de vida da população e também na consciência do setor para a sua responsabilidade com a economia e o desenvolvimento social nas cidades, que acolhem os menos favorecidos em condições precárias de habitabilidade (GOMES, 2017; DURANTE *et al*, 2020).

O modelo de construção comumente praticado no Brasil tem ocasionado vários prejuízos ambientais, pois, além de utilizar, amplamente, matéria prima não renovável da natureza e consumir elevadas quantidades de energia, tanto na sua extração, como no transporte e processamentos de insumos, produz grande quantidade de resíduos (ROTH & GARCIAS, 2009). Os autores também destacam para os impactos devido a formação de áreas degradadas, que ocorrem nas três etapas do processo construtivo: na aquisição do material, considerando a retirada da matéria prima natural e a fabricação dos produtos, na etapa da execução das obras, e na fase de disposição final dos resíduos gerados na construção.

Laruccia (2014) acrescenta que quando já finalizada a construção, o ambiente construído continua a impactar, devido a utilização de recursos (água e eletricidade), de forma contínua, ao longo da vida útil da edificação. Porém, tendo em vista o crescimento da população e o proporcional aumento no uso desses recursos, é necessário também considerar esta etapa de utilização como também geradora de degradação ambiental.

Em síntese, o estudo de técnicas e materiais de construção alternativos e sustentáveis podem contribuir para compatibilizar os impactos no meio ambiente associados ao atendimento da demanda habitacional, visando otimizar a habitabilidade das edificações bem como,

favorecer a melhoria das edificações no que tange aos quesitos termo-higrômetro, lumínico e acústico, além de colaborar para o aprimoramento da qualidade de vida do usuário.

Assim, por meio da presente pesquisa propõe-se avaliar os principais fatores que impactam a produção de moradia com envoltória em taipa de pilão tipo solo-cimento que atenda as condições mínimas de habitabilidade e conforto dos usuários nas diferentes zonas bioclimáticas brasileiras. Desta forma, no presente estudo foi analisada a aplicação dos conceitos de sustentabilidade bem como a análise termo energética de uma edificação de referência (casa em taipa de pilão na Zona bioclimática 4, região de Caldas Novas – Goiás).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Analisar o desempenho térmico de uma edificação residencial unifamiliar construída em taipa de pilão, com solo-cimento, nas diferentes zonas bioclimáticas brasileiras.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Fazer uma revisão sistemática para busca de respostas e indagações do tema estudado.
- Caracterizar os materiais utilizados no estudo de caso, determinando suas propriedades, de acordo com suas respectivas normas técnicas;
- Analisar o desempenho termoenergético de uma edificação residencial construída com taipa de pilão solo-cimento, com base nas NBR 15220/2007 e 15575/2021, utilizando o *plugin OpenStudio* para *SketchUp* para modelar os aspectos geométricos da edificação, caracterizar suas superfícies, zonas térmicas e elementos da envoltória e no mesmo *plugin* utilizar o método de cálculo do *software Energy Plus* para simulação.
- Fazer simulação com a mesma edificação do estudo de caso utilizando como método construtivo alvenaria de bloco cerâmico (material mais utilizado no Brasil) para comparar a eficiência energética entre os materiais nas diferentes zonas bioclimáticas.

1.2 JUSTIFICATIVA

As questões ambientais estão cada vez mais sendo discutidas e debatidas entre a sociedade, no âmbito privado e até mesmo entre as nações. Este fato demonstra que a população está atenta a essas práticas e tem cobrado cada vez mais do governo e de empresas posturas que estejam ligadas com as questões ambientais (JEAN; LONGO; LIMA, 2022).

De acordo com Santos *et al.* (2012) a construção civil é um dos setores que geram vários impactos ao meio ambiente, desde a matéria prima necessária a construção até a energia que é consumida durante todo o processo. Segundo Neves e Faria (2011) só a produção do cimento que é matéria base para a indústria da construção é responsável por aproximadamente 8% das emissões de CO₂ de todo o mundo. Assim, é papel dos agentes envolvidos no setor apresentarem ideias que minimizem esses impactos, de modo a conciliar o desenvolvimento das atividades da construção com a preservação do meio ambiente.

Desse modo este estudo procurou avaliar o desempenho termo-energético de uma edificação cuja técnica utilizada para o sistema de vedação lateral foi a taipa de pilão com solo-cimento. Esse sistema possui características sustentáveis, pois a sua composição é predominantemente de solo da região da construção. Além disso, ao utilizar materiais naturais abundantes na região, e pouco processados, procura-se reduzir o impacto ao meio ambiente, e, nesse caso, ao longo de sua vida útil, uma vez que a taipa possui características que minimizem os gastos com energia elétrica .

Ao se estudar certas características de construções em taipa, a pesquisa procura obter informações importantes, para embasar outros estudos e, até mesmo a execução de casas sustentáveis nas diferentes zonas bioclimáticas brasileiras.

CAPÍTULO 2: REVISÃO SISTEMÁTICA

2.1 MÉTODOS CONSTRUTIVOS

Segundo Macedo (2011) o sistema construtivo é o termo usado para definir o conjunto de elementos que formam uma edificação. O Brasil apresenta grande diversidade de métodos construtivos, porém ainda se mostra resistente a utilização de alguns tipos de materiais em suas vedações, optando na maior parte das vezes pelo método tradicional de alvenaria composta por blocos cerâmicos, em razão da disponibilidade de mão de obra barata e por exigir menos qualificação (CASSAR, 2018).

Souza (2013) também destaca a predominância da alvenaria convencional como principal método construtivo de habitação no Brasil. Porém, esse sistema conta com baixa produtividade e um alto desperdício de material, gerando uma grande quantidade de resíduos. Para Ferreira (2009), os resíduos de construção e demolição representam mais da metade dos resíduos sólidos urbanos gerados diariamente.

A parede de concreto tem se tornado um material bastante utilizado como estrutura e vedação por grandes construtoras com o intuito de aumentar a produtividade, porém, está distante de atender as questões ambientais, como desempenho termo-energético, além da grande quantidade de energia despendida na fabricação do cimento, que a matéria prima principal desse sistema construtivo.

Buscando atender a demanda habitacional com construções mais sustentáveis e energeticamente eficientes, existem no mercado diferentes métodos construtivos que são de rápida execução com reduzido uso dos recursos naturais, como aquelas construções em Steel frame e, ou EPS (poliestireno expandido) e aqueles sistemas construtivos em terra, resgatado, como adobe, taipa de pilão e taipa de mão (pau-a-pique), que utilizam materiais locais e baixa energia incorporada.

Nesse contexto, a construção em taipa pode se tornar uma alternativa para atender a demanda do crescimento urbano de forma sustentável, por meio do uso da terra. Desta forma, adotando-se um sistema construtivo que proporciona uma menor geração de resíduos, já que esse sistema possibilita reaproveitamento pela reciclagem (SENA JÚNIOR; DO CARMO, 2015).

Após o ano 2000 a técnica de taipa de pilão tem recebido maior atenção no Brasil tanto de pesquisadores quanto de profissionais da área da construção civil, levando em conta entidades, eventos especializados no tema, tendo como exemplo a rede PROTERRA,

congressos Terra Brasil, Associação Brasileira de Materiais Não Convencionais, entre outros (CALDAS, MARTINS E TOLEDO, 2021). Adicionalmente, destaca-se que um dos motivos que tem conduzido a esse aumento no interesse pela construção em terra seria a busca por um desenvolvimento mais sustentável.

O uso de técnicas e materiais alternativos na construção civil pode servir como solução para o déficit habitacional e condições de moradias precárias. Segundo Souza (2013) todas as técnicas construtivas têm seus prós e contras, podendo esses ser o custo, a trabalhabilidade, disponibilidade de matéria prima, mão de obra, execução e durabilidade.

2.1.1 Alvenaria

A alvenaria pode ser descrita como um componente construído em obra, a partir da união entre bloco ou tijolos com junta de argamassa, formando um conjunto coeso e rígido (MARTINS, 2009).

Atualmente podemos considerar a alvenaria convencional ou de vedação como o sistema de construção mais tradicional do Brasil. Além de ser um dos mais utilizados é o sistema construtivo mais estudado nas graduações e é considerado um dos principais para a formação de diversos profissionais (OSÓRIO, 2021). Esse tipo de alvenaria é frequentemente acompanhada de estrutura de concreto ou estrutura de aço, com o objetivo receber cargas verticais e transferi-las aos componentes de fundação (THOMAZ *et al.*, 2009). Dessa forma, as cargas não passam pela alvenaria, evitando assim o seu rompimento, já que ela não possui função estrutural.

A alvenaria de vedação pode ocasionar muitos retrabalhos, devido a patologias originadas pela falta de mão de obra especializada, como paredes com falta de prumo, nível e esquadro. Além de se gastar mais tempo com execução e desperdícios, esses retrabalhos muitas vezes são causados durante a instalação da parte hidráulica e elétrica, quando as paredes são quebradas e depois fechadas com argamassa (PEREIRA, 2018).

Os retrabalhos prejudicam a qualidade do produto final, compromete o cronograma de execução, além de aumentar os custos da obra. Os retrabalhos são consideradas atividades de fluxo que não agregam valor e consomem grande quantidade de tempo no processo produtivo, estando entre os principais responsáveis pelo aumento do custo e baixa produtividade da alvenaria convencional (SPANIOL, 2018).

A alvenaria é considerada como uma etapa da construção civil responsável pelos maiores índices de desperdícios de materiais de uma obra. Deixando em evidência a

importância da adoção de medidas eficientes e capazes de controlar e reduzir estes desperdícios (FIGUEIRÓ, 2009).

A indústria da construção civil brasileira ainda apresenta um grande atraso se comparada com outros setores da economia, principalmente, pelos processos tradicionais que em sua essência incorporam os métodos construtivos já considerados ultrapassados em países desenvolvidos. O Brasil precisa de propostas reformuladas e direcionadas a esse setor, de modo a promover a racionalização, reduzir os erros, diminuir o tempo e as perdas e aumentar a produtividade (KATO, 2002).

2.1.2 Construções em Terra

É comum no âmbito da arquitetura e construção com terra adotar o termo “terra” para descrever toda edificação que utiliza o solo como principal matéria prima. Outras denominações são terra crua ou terra sem cozer que se refere às construções que usam o solo sem alterar suas características mineralógicas (BRUNO, 2005). Desta forma são excluídos todos os materiais cerâmicos que alteram, no seu processo de cozedura, suas características iniciais.

O uso da terra como material de construção pode ser encontrado em diversas localidades e culturas, como França, Portugal, Espanha, China, Turquia, Irã, México e em vários países da África. No Brasil, o início da difusão das técnicas de construção com terra se deu pelos portugueses e africanos, e teve sua maior difusão no período colonial (CORDEIRO *et al.*, 2019).

Em âmbito nacional observa-se um aumento no interesse pelas construções em terra, motivada pela busca de um desenvolvimento ambientalmente mais sustentável. Nesse contexto, a terra é satisfatória por ser um material natural abundante, normalmente disponível no local da construção, além de possuir boas propriedades acústicas, térmicas, ser atóxica, ter resistência ao fogo e permitir ser reciclada no fim de sua vida útil (CALDAS; MARTINS; TOLEDO, 2021).

As paredes construídas com terra possuem benefícios que valem a pena destacar (CARVALHO & LOPES, 2012; GOMES & GONÇALVES, 2012):

- a) Economia de energia em sua construção;
- b) Baixa condutividade térmica;
- c) Regulação da umidade ambiental;
- d) Reciclável, pode ser demolida e reaproveitada várias vezes;
- e) Baixo custo e contribui no processo social do habitat;
- f) Possibilidade de autoconstrução;

g) Absorção dos ruídos;

Fazendo um comparativo entre a alvenaria convencional, que os insumos estão quase sempre distantes dos locais de construção, necessitando de transporte, os quais são responsáveis pela emissão de grande quantidade de gás carbônico e a terra, cujos resíduos das construções podem ser depositados no local de sua extração sem qualquer risco ambiental, podendo ainda ser reutilizado, esse método apresenta-se mais sustentável. Assim, o estudo de técnicas de construção com terra se torna uma alternativa oportuna para moradias sustentáveis, contribuindo para a atenuação dos problemas ambientais.

A construção em terra na década de 2001 a 2011 recebeu uma atenção crescente da comunidade científica, havendo um aumento de dez vezes nas publicações, se comparado com as décadas anteriores (PACHECO-TORGAL & JALALI, 2011). Da mesma forma, a rede internacional, de âmbito ibero-americano, PROTERRA, fundada em 2001, tem trabalhado no desenvolvimento da arquitetura e construção com terra, proporcionando a divulgação para profissionais e para a comunidade geral (NEVES, 2011).

Vários estudos sobre construções com terra vem sendo desenvolvidos, buscando avaliar o seu comportamento térmico, inspirado em soluções de construções inovadoras na prática da indústria contemporânea, e também na manutenção e renovação das antigas construções, além disso, a terra tem chamado à atenção por ser um material que pode suprir a demanda com preços mais acessíveis no país (CORDEIRO *et al.*, 2019).

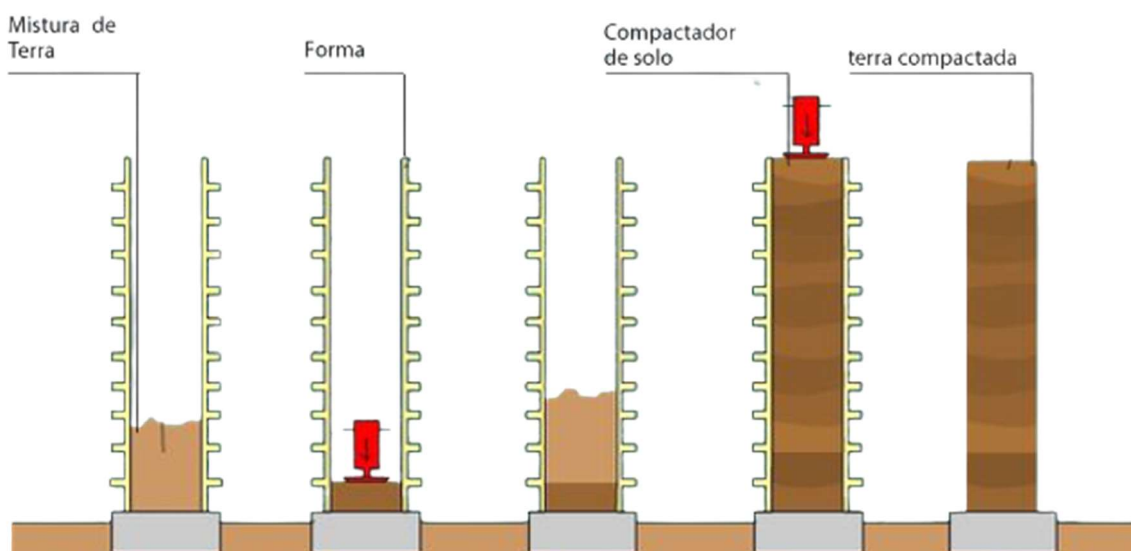
No Brasil, muitos autores como Veraldo, A. C; Sato, M. Helena; Neves, C.; Heise, F., têm abordado sobre o seu uso no país, referindo-se principalmente a taipa de pilão, uma técnica antiga e presente em todo o território brasileiro. Desta forma, salienta-se a importância deste material para a conjuntura da arquitetura nacional, fazendo importante para a cultura do país (CORDEIRO *et al.*, 2019).

2.1.3 Taipa de Pilão

A Taipa de Pilão é uma técnica tradicional de construção de paredes monolíticas, datada de 5.000 a.C., na qual a terra úmida é derramada em uma fôrma em camadas compactadas (FERNANDES *et al.*, 2019). Ela pode ser caracterizada como elemento estrutural moldado in loco, com alta resistência a compressão e baixa resistência a tração. Os materiais geralmente utilizados são: solo, água, areia (caso necessária alguma correção), cimento e a cal hidratada (NEVES; FARIA, 2011). É considerada uma técnica não convencional, e é classificada como um sistema monolítico, pois a locação das formas e a compactação resultam em blocos

estruturais sólidos que ao final da obra formam um elemento único (TEIXEIRA; BUENO, 2019).

Figura 1 - Método de Construção em Taipa de Pilão



Fonte: Adaptado SustentArqui (2020)

O processo de execução da taipa de pilão envolve o uso de formas (chamadas taipal), sendo que no Brasil as mais comuns são feitas em madeira compensada, usando-se também tirantes para o seu travamento. A compactação pode ser feita manualmente, com o uso de pilão ou mecanizada com pilão elétrico ou pneumático (CALDAS, MARTINS & TOLEDO, 2021). O uso mecanizado tem se tornado cada vez mais comum, por melhorar a produtividade e a qualidade do visual, acabamento e uniformidade da parede (NEVES & FARIA, 2011).

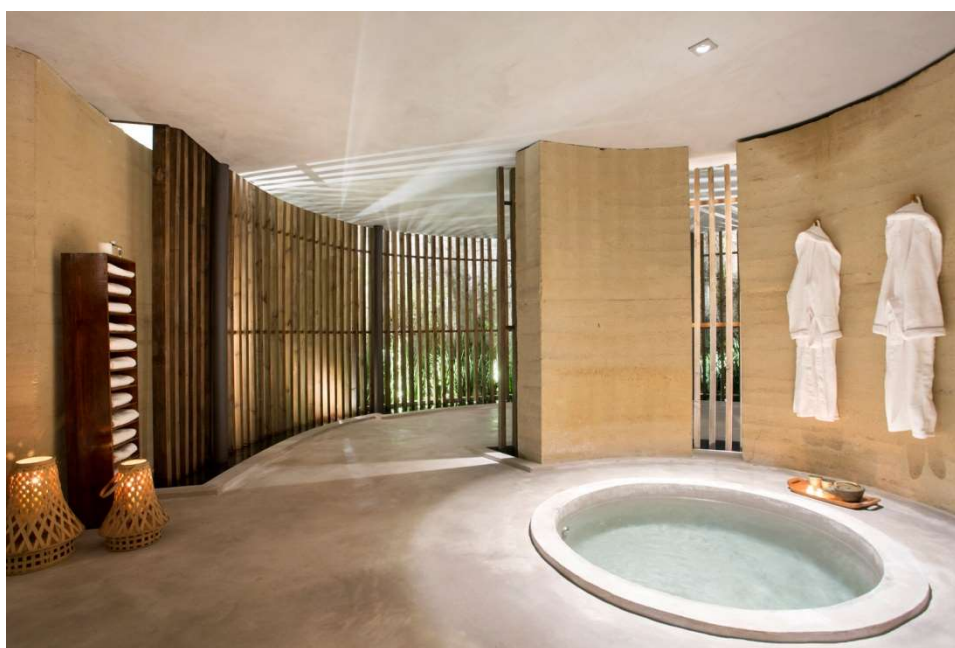
No ano de 2022 foi aprovada a NBR 17014 que especifica os requisitos, procedimentos e controle referente a taipa de pilão. Dando suporte desta forma para indicar um padrão de qualidade e uma melhor gestão do processo de construção da taipa de pilão.

Vale ressaltar que o entendimento sobre a construção em taipa de pilão passa por algumas especificações técnicas importantes, como: massa específica seca, resistência, granulométrica do solo, durabilidade, propriedades higrotérmicas, condutividade térmica e calor específico (CALDAS, MARTINS & TOLEDO, 2021). Algumas características para a especificação da técnica de taipa de pilão podem ter uma variação considerável situação que tem relação direta com o fato do solo ser um material heterogêneo, de forma que suas características próprias podem variar de local para local.

Não é qualquer tipo de terra que pode ser usado para a construção de taipa de pilão. Assim, é recomendado fazer testes antes do início da construção para poder identificar a composição e resistência da terra (OLIVEIRA, 2012). Esses testes podem ser realizados no próprio canteiro de obras, sendo os mais comuns: o do bolo, resistência seca e o do cordão.

Embora o uso da taipa de pilão tenha sido visto em edificações históricas, existem casos mais recentes, como o evento CASACOR Rio de Janeiro 2018, que adotou a taipa como elemento estético para revestimento dos ambientes de relaxamento. Alguns escritórios e empresas de construção no Brasil tem se especializado no desenvolvimento de projetos que usam o sistema construtivo de terra compactada, tendo como exemplo o escritório Taipal como um dos mais famosos (JODIDIO, 2015).

Figura 2 - Ambiente de relaxamento em Taipa de Pilão - Casa Cor, Rio de Janeiro em 2018



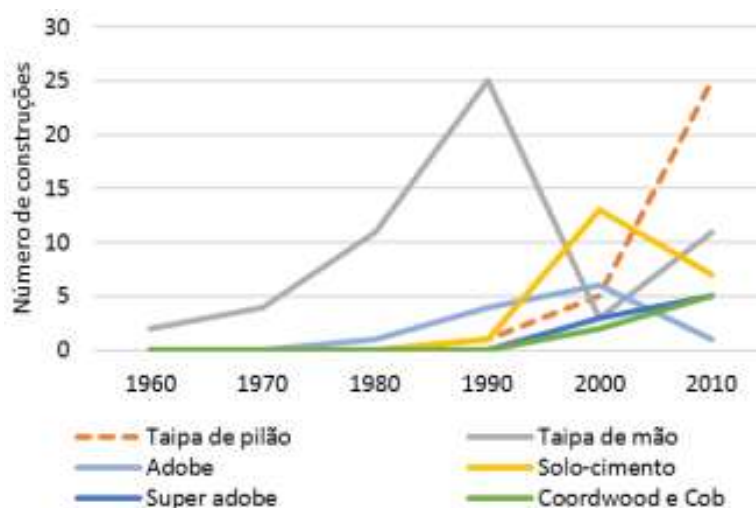
Fonte: Materiabase (2018)

O uso da taipa de pilão trata-se de uma alternativa tecnológica cujo processo de produção fortalece a preservação dos recursos naturais, de maneira que não agrida o meio ambiente. Através desse processo produtivo podem-se construir objetos arquitetônicos que preservem a harmonia com o meio natural, cultural e artificial em que se localizam (SATO, 2011).

Na Figura 3 são apresentadas as tecnologias de construção com terra utilizadas no Brasil entre as décadas de 1960 e 2010. Pode-se notar pelo gráfico que a taipa de pilão teve um crescimento expressivo a partir do ano 2000, se comparado com as outras técnicas. De acordo

com Pinheiro *et al.* (2016) esse crescimento se deu em maior proporção no estado de São Paulo e esse fato pode ter duas justificativas: a primeira porque o estado de São Paulo, concentra duas empresas construtoras especializadas em Taipa de pilão, com início em 1990 e 2000. E a segunda, em razão do maior interesse dos arquitetos e clientes nessa técnica.

Figura 3 - Evolução dos tipos de construção em terra no Brasil



Fonte: Caldas, Martins e Toledo (2021) com base nos dados de Pinheiro *et al.* (2016)

Uma vantagem da construção em taipa de pilão em relação a outras técnicas de construção em terra pode se dar por ela ser uma estrutura monolítica e, por isso, têm uma maior durabilidade. Assim, se comparado com as técnicas que utiliza o solo mais úmido a taipa tem uma retração baixa e uma maior resistência (POGGIO *et al.*, 2011).

A taipa possui um ótimo índice de salubridade e um ótimo grau de acabamento, não se diferenciando da construção convencional, a não ser pelo menor gasto de energia e não produzir resíduo industrial. Ela também possibilita uma ótima resistência mecânica desde que os seus vazios sejam preenchidos por argila pela compactação (PISANI, 2006).

As possibilidades de melhorar a terra são muitas, como adicionar pequenas quantidades de aglomerantes como cal e/ou cimento, de forma a melhorar sua resistência, acrescentar agregados leves, fibras, para reduzir efeito de retração, ou ainda adicionar óleos vegetais ou animal para diminuir a permeabilidade ou reduzir a retração, e aumentar a durabilidade (SATO, 2011).

2.1.3.1 Taipa de Pilão Pura

As paredes de taipa de pilão pura são as paredes sem uso de estabilizante, sendo o elemento aglutinador a argila. A proporção ideal de material para esse tipo de técnica seria de, aproximadamente, 30% de argila e 70% de areia, e umidade tal que permita que os materiais estejam agregados, sendo importante que sejam retirados pedriscos e raízes desse solo (TELLI, 2014).

Novas mistura de solo-cimento, aditivos dos mais variados, fibras, em construção em taipa estão sendo estudados por alguns autores como Moura, E. M.; Nascimento, N. C.; Sales, J. N. e são usados com intenção de aumentar a resistência das paredes monolíticas (FARIA, 2011).

2.1.3.2 Taipa de Pilão com adição de cimento

Ao longo do tempo a técnica de taipa de pilão vem se adaptando as diferentes culturas, climas, evolução tecnológica, história, necessidades do homem e do ambiente construído. A descoberta do solo-cimento, o surgimento de novas tecnologias e materiais, recriam um novo modo de construir tradicionalmente esta técnica artesanal (VERALDO, 2015).

Na atual (século XXI) técnica de construção em taipa de pilão adicionam-se diferentes tipos de estabilizadores à mistura da terra. Estudos já realizados indicam que a incorporação de um material estabilizador ajuda a aumentar a durabilidade das paredes em relação à água (MENDES & BESSA, 2022).

Por outro lado, a adição de um estabilizante pode aumentar também a energia incorporada da taipa. Isso pode ocorrer devido à produção do material incorporado, o que prejudica os benefícios ambientais da taipa de pilão, em comparação a terra não estabilizada. A preocupação com a redução dos impactos ambientais leva a necessidade da escolha criteriosa dos estabilizantes (MENDES & BESSA, 2022).

O cimento neste século XXI é o estabilizante mais utilizado nas misturas de taipa, seguido pela cal. O uso do cimento como estabilizador ganhou popularidade por possibilitar maior resistência e durabilidade, com baixa porcentagem em relação à mistura. Em razão das reações do cimento serem hidráulicas, esse estabilizador precisa somente de água para reagir e aumentar a resistência da taipa (CRISTELO *et al.*, 2012). Sendo o teor de cimento recomendado para a estabilização varia de 6 a 10% do peso total da mistura (MENDES & BESSA, 2022).

Um estudo comparativo de paredes de taipa comum com outras estabilizadas com cimento, quando expostas a carga de vento e neve foi observado que a estrutura estabilizada apresenta maior índice de confiabilidade, por possuir menor probabilidade de erosão, maior

resistência a umidade e maior resistência à compressão (TOUFIGH & KIANFAR, 2016). Por outro lado, em um estudo comparando a resistência à compressão e a energia incorporada das paredes de taipa de pilão estabilizadas com cimento em relação às paredes de alvenaria em tijolo cerâmico observou-se que a resistência à compressão da parede de taipa estabilizada com 8% de cimento é equivalente àquela obtida pela parede de alvenaria de bloco cerâmico, mas a energia incorporada na parede de taipa corresponde em torno de 15 a 25% daquela incorporada na parede de tijolo (REDDY & KUMMAR, 2010).

2.2 EFICIÊNCIA TÉRMICA E ENERGÉTICA

Quando se fala em construção sustentável, busca-se o equilíbrio, a restauração e a manutenção da harmonia entre o ambiente natural e o construído. Então para atingir essa estabilidade é necessário reduzir ao máximo os impactos negativos criando edificações com impactos positivos durante todas as suas etapas de desenvolvimento e utilização. Estas etapas se dão desde a escolha do material, a construção, a solução arquitetônica e a utilização da edificação até o final de sua vida útil.

O desconhecimento de soluções arquitetônicas adequadas para a otimização das condições de conforto térmico dos ocupantes em edificações acaba resultando em ambientes termicamente desfavoráveis. As consequências dessa situação, em geral, consistem em: um maior consumo de energia elétrica para adequar a temperatura por meio do condicionamento artificial dos ambientes ou a insatisfação térmica nos ambientes de trabalho (reduzindo o rendimento das atividades) ou em moradias (levando ao mal-estar físico) até que as condições mínimas aceitáveis sejam atingidas (GONZALO, 2004).

A arquitetura deve integrar tecnologia e natureza, o clima e as suas variações devem ter prioridade no projeto. A edificação pode funcionar como um mecanismo de atuação no controle das variáveis, por meio da sua envoltória (paredes externas e cobertura), entorno – água, vegetação, solo, sombra e, também, no reaproveitamento de recursos naturais). Com isso, além de atender aos requisitos de conforto dos usuários, também é possível reduzir a necessidade do uso dos recursos energéticos.

A eficiência energética pode ser definida como “a obtenção de um serviço com baixo dispêndio de energia. Portanto, um edifício é mais eficiente energeticamente que outro quando proporciona as mesmas condições ambientais internas com menor consumo de energia” (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014).

É importante destacar que a regulamentação para a eficiência energética das edificações é uma das iniciativas para a redução do consumo energético, sendo que o projeto eficiente, além do uso de equipamentos e tecnologias, também deve estar associado às decisões arquitetônicas, com a finalidade de proporcionar condições de conforto térmico ao usuário e otimizar o uso da energia elétrica na edificação (ROAF *et al.*, 2006).

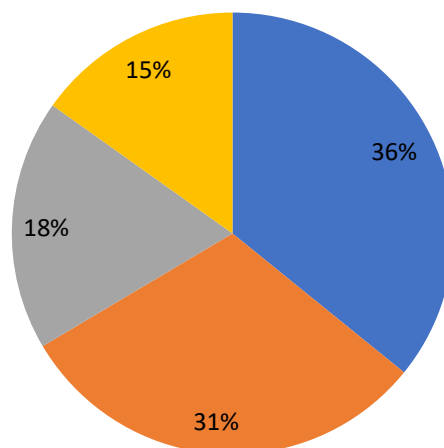
No Brasil, o conjunto de normas e diretrizes que visam à adequação climática das habitações unifamiliares ao conforto ambiental e desempenho térmico é estabelecido pela NBR 15220/2007 e NBR 15575/2021. Já a adequação visando à eficiência energética é dada pelo Regulamento de avaliação da eficiência energética de edificações residenciais (RTQ-R) (INMETRO, 2012). Essas normas estabelecem requisitos mínimos de desempenho dos materiais, cores das coberturas e paredes, como também as áreas de ventilação e iluminação baseada nas oito zonas bioclimáticas brasileiras (GUARDA *et al.*, 2018). Vale salientar que o RTQ-R que foi publicado em 2009 e passou por uma revisão em 2012 será atualizado pela INIR (Instrução Normativa Inmetro para a classificação de eficiência energética de edificações residenciais), que está em consulta pública (PBE EDIFICA, 2023).

Essa concepção abrangente de planejamento que incorpora as normas e os regulamentos descritos anteriormente é de conhecimentos da maioria dos profissionais brasileiros, porém nem todos utilizam desse meio para melhorar o projeto, ou a construção como um todo. Porém, percebe-se que a necessidade de atender aos requisitos de sustentabilidade como eficiência energética, qualidade do ambiente interno, redução dos custos e do uso de materiais não renováveis vem exigindo que profissionais e pesquisadores repensem os materiais e o edifício em seu todo, principalmente, quando esses edifícios são extremamente dependentes de recursos artificiais como iluminação e climatização artificial.

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética - EPE, o setor residencial foi o segundo setor que mais contribuiu no consumo de energia elétrica no país, atrás apenas do setor industrial (EPE, 2019), conforme pode ser visto na Figura 4:

Figura 4 - Participação de cada setor no consumo de energia elétrica em 2023

■ Industrial ■ Residencial ■ Comercial ■ Outros



Fonte: Adaptado EPE (2023)

Atrelado ao crescimento do consumo energético está à popularização dos sistemas de climatização. Por garantirem maior conforto aos usuários, a tendência é que esses sistemas sejam cada vez utilizados, sendo os responsáveis por uma parcela considerável no consumo de energia elétrica das edificações. De acordo com o IEA (2016), como resultado do crescimento econômico e do aumento de renda da população, existe uma preferência natural pelo conforto térmico, resultando em um aumento notável no uso de energia elétrica para ventilação e ar-condicionado.

No cenário atual há uma grande demanda de energia elétrica para a climatização artificial dos ambientes, sobrecarregando a matriz energética global e elevando a necessidade por geração e distribuição de energia elétrica, ainda maiores em horários de pico, colocando uma pressão enorme sobre esses sistemas (TOCCHIO, 2020).

Nota-se que nem sempre os meios de climatização artificial são a melhor alternativa, se tornando apenas uma solução rápida e paliativa diante das altas temperaturas, e que trarão consequências futuras. Soluções de eficiência térmica e energética devem ser pensadas desde a concepção de uma edificação, levando em consideração a escolha do material, a interação da arquitetura com o meio que está inserida, uma vez que isso pode interferir diretamente no clima interno da edificação. Nesse sentido, faz-se necessário que arquitetos e engenheiros assumam a responsabilidade da eficiência térmica dos ambientes, usando estratégias de projeto visando uma climatização natural.

2.3 CONFORTO TÉRMICO

O conforto térmico é a condição global de uma pessoa na qual ela não prefira sentir mais calor, e nem mais frio, ou seja, é um estado total de bem-estar físico e mental que expressa satisfação com o ambiente térmico ao seu redor. Esse estado pode estar ligado a individualidade de cada pessoa, o que faz com que um ambiente possa ser considerado confortável para alguns, e desconfortável para outros (LABEEE, 2023). Fazem parte dos parâmetros que influenciam na condição térmica dos ambientes (climáticos) e os individuais (subjativos).

Uma forma de entender melhor como esse estado pode ser atingido, é importante primeiro conhecer quais são as variáveis envolvidas e compreendê-las. As variáveis de conforto térmico estão divididas em dois tipos:

- Variáveis Humanas: Metabolismo (Met ou W/m^2) e Vestimentas (Clo);
- Variáveis Ambientais: Temperatura do ar (T_{ar} - °C), Temperatura Radiante Média (TRM - °C), Velocidade do ar (V_{ar} - m/s) e Umidade Relativa do ar (UR - %).

O **Metabolismo (Met)** é responsável pelo calor gerado pelo corpo a partir das reações químicas, e é o que mantém a queima de calorias e os processos químicos vitais. A proporção de energia na forma de calor dissipada depende da quantidade de trabalho muscular, então quanto maior à atividade física, maior será o calor gerado por metabolismo, como pode ser visto na Figura 5.

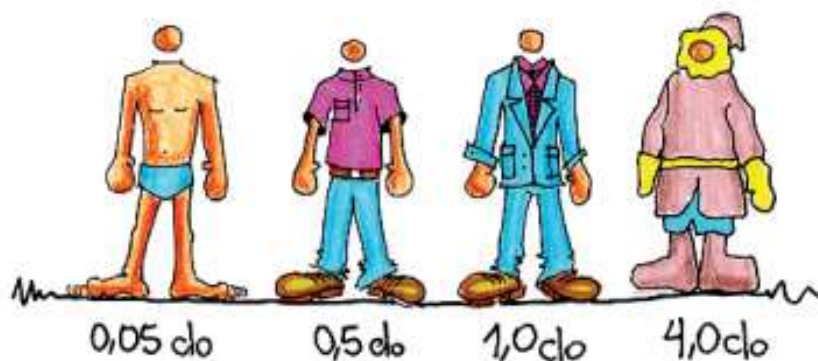
Figura 5 - Atividades físicas e respectivos metabolismo segundo ISO 7730



Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira (2012).

As **Vestimentas (Clo)**, do inglês *clothing*, atuam como um isolante térmico entre o corpo e o meio, dificultando a troca de calor por convecção. Sendo que 1 clo representa uma resistência térmica de $0,155 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$ e equivale a um terno completo, conforme Figura 6 (LAMBERTS, DUTRA E PEREIRA, 2012).

Figura 6 – Resistência térmica de algumas vestimentas



Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira (2012).

A **umidade relativa (UR)** representa a quantidade de vapor de água no ar dividido pela quantidade máxima que esse poder conter, a uma determinada temperatura e pressão. À medida que a temperatura do meio se eleva, o organismo secreta suor a fim de aumentar sua dissipação de calor por evaporação, porém se o ambiente estiver com a UR alta, está troca de calor não será eficiente. Assim quanto maior a UR, menor a eficiência da evaporação na remoção do calor.

OBS: Umidade abaixo de 30% afeta as vias respiratórias e as mucosas e pode causar problemas de eletricidade estática; permanecendo acima de 70% por longos períodos, a umidade favorece a proliferação de mofo.

A **velocidade do ar (Var)** é uma variável que está diretamente ligada às trocas de calor por convecção e evaporação, retirando o ar quente e facilitando a evaporação de água em contato com a pele, reduzindo a sensação térmica quente.

Em conjunto com as variáveis ambientais do local, a **temperatura radiante média (TRM)** representa a temperatura uniforme de um ambiente imaginário no qual as trocas de calor por radiação são iguais ao ambiente real não uniforme.

Com base nos parâmetros apresentados e levando em consideração somente as variáveis ambientais, na Figura 7 é apresentado um diagrama alternativo de conforto térmico.

Figura 7 – Diagrama de conforto térmico



Fonte: INMET - Conforto Térmico (2023).

2.4 SIMULAÇÃO BIOCLIMÁTICA

Estratégias de eficiência energética nas edificações são imprescindíveis, considerando o elevado consumo de eletricidade pelas edificações no Brasil e elevada participação média do condicionamento de ar no consumo do setor comercial (ANDRADE, FERREIRA E HIRASHIMA, 2018).

No âmbito da pesquisa sobre tecnologia do ambiente construído é perceptível a importância dos estudos sobre o desempenho termo-energético das edificações. Dentro desse contexto ferramentas computacionais mostram-se importantes instrumentos experimentais.

Além disso, o crescente número de edificações, inclusive brasileiras, que buscam por implantar sistemas de certificações ambientais, como *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED) e a Alta Qualidade Ambiental (AQUA), faz com que a utilização de ferramentas de simulação computacional seja cada vez mais utilizada.

Considerando a diversidade de formas de aumentar a eficiência energética, seja por soluções arquitetônicas ou tecnológicas, as ferramentas de simulação computacional permitem a avaliação de diferentes soluções, ainda na fase de planejamento dessas edificações (SANTOS *et al.*, 2017). Os autores destacam que essas ferramentas são classificadas em duas categorias principais: ferramentas geradoras, que auxiliam nas definições geométricas, sendo ainda escassas; e ferramentas de análise de desempenho úteis na avaliação quantitativa de projeto já consolidado. Entretanto, as últimas requerem uma grande quantidade de dados de entrada, se restringindo a pesquisas acadêmicas.

Sobre as ferramentas mais utilizadas pelos profissionais de áreas afins a arquitetura, Venâncio e Pedrini (2011) destacam: O ECOTECH, um software desenvolvido e que foi muito utilizado por arquitetos, porém foi descontinuado em 2015; e o EnergyPlus, mais utilizado por pesquisadores atualmente.

O Energy plus é um programa completo de simulação energética de edifícios que engenheiros, arquitetos e pesquisadores utilizam para modelar o consumo de energia, para aquecimento, resfriamento, ventilação, iluminação. Ele é um programa baseado em console que lê a entrada e grava a saída em arquivos de textos(ENERGYPLUS, 2023). Há várias interfaces gráficas abrangentes para o EnergyPlus que estão disponíveis para facilitar a utilização do *software*, entre elas a interfaces do OpenStudio utilizado nesta pesquisa.

Conceitualmente, o OpenStudio SDK (*Software Development Kit*) fornece uma interface de programação de aplicativo para acessar o mecanismo de modelagem EnergyPlus. É uma interface que oferece muitos benefícios, como uma aparência estável e controlada por sua versão, abstrações de tipologia de espaço que tornam mais fácil para os usuários finais modelarem o edifício para torná-lo mais acessível aos usuários familiarizados com essas linguagens (OPENSTUDIO, 2023).

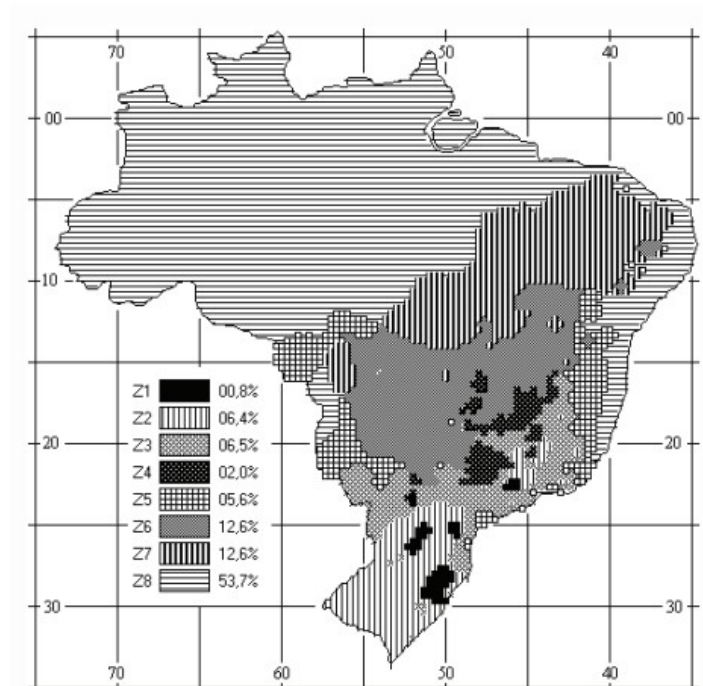
2.4 ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO BRASILEIRO

Conhecer os fatores inerentes ao ambiente no qual a edificação se localiza é fundamental, pois sempre haverá troca de energia e massas entre o ambiente interno e externo, seja pela radiação solar (visível ou não), temperatura, umidade e por outros fatores que possam interferir, como árvores e edifícios próximos (FERRER; GARRIDO, 2013).

Um mesmo modelo de edificação pode apresentar diferentes resultados em relação ao desempenho térmico, devido à mudança de local. Triana *et al* (2015), descreve que devido a grande extensão territorial, o Brasil possui regiões com diferentes características climáticas.

A norma brasileira NBR 15220 (ABNT, 2007) estabelece o zoneamento bioclimático brasileiro, subdividindo o país em oito zonas bioclimáticas, conforme se observa na Figura 8:

Figura 8 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro



Fonte: NBR 15220-3.

A NBR 15220-3 define as principais características de cada zona bioclimática e dá as diretrizes para cada uma dessas oito zonas bioclimáticas, como tamanho de aberturas, sombreamento necessário, tipo ideal de paredes e coberturas e outras estratégias mais recomendadas para a região. O estudo de caso desta pesquisa está localizado na Zona Bioclimática 4, porém a análise é mais abrangente e analisa a edificação de taipa inserida nas outras diferentes zonas bioclimáticas brasileiras para entender seu comportamento nos diferentes climas e se realmente este material é eficiente para todas as regiões brasileiras.

CAPÍTULO 3: METODOLOGIA E FORMA DE ANÁLISE DOS RESULTADOS

Tomando como ponto de partida o levantamento das características termo energéticas propiciada por uma edificação residencial unifamiliar construída em taipa de pilão na Zona Bioclimática 4 (ZB 4), com solo tipo solo-cimento, o método para a realização desta pesquisa foi abordagem quali-quantitativa, sendo quantitativa ao analisar os dados numéricos, simulados em *software* e medidos *in loco*. E qualitativa ao buscar entender as sensações que esse tipo de residência pode proporcionar em seus usuários. Sendo seu objetivo de caráter exploratório, ou seja, busca entender as características termo energéticas referentes a um estudo de caso único na ZB 4.

No que diz respeito aos meios de investigação, optou-se inicialmente pela pesquisa bibliográfica para entender de forma clara a pesquisa e o que está sendo estudado em relação ao tema no século XXI e, também, as normas, NBR 15575:2021 que traz valores de referência para a simulação e a NBR 15220:2007 que também trata das características dos materiais.

Posteriormente foi realizada a pesquisa de campo, com medição da edificação para conferência de dados, se estavam de acordo com projeto, e a verificação da composição dos materiais utilizados para compor a parede de taipa de pilão (solo, cal, cimento), esses dados de composição serviram para serem utilizados nos dados de entrada do *software*, e foram comparados com os dados de referência das normas e estudos de outros autores, segue fluxograma (Figura 9) do processo de análise:

Figura 9 – Fluxograma metodologia



Fonte: Autora (2024).

Com os dados coletados foi feita a modelagem e simulação computacional com *plugin Open Studio* utilizando o método de cálculo do *software Energy Plus*, comparando a edificação em taipa de pilão solo-cimento aos dados de referências das normas (NBR 15575; 2021, NBR 15220:2007 e ASHRAE 55:2020), e também foi analisado uma outra simulação com a mesma edificação, porém com o material sendo alvenaria de bloco cerâmico, de acordo com a NBR 15575 (2021), para verificar qual possui maior eficiência energética.

Com os dados analisados, o trabalho busca identificar se a taipa de pilão é mais eficiente em relação ao conforto térmico e eficiência energética, do que a alvenaria de bloco cerâmico que é um dos tipos de construções mais utilizado no Brasil. E se comprovado, servir de referência para que edificações em taipa de pilão possam ser mais utilizadas no Brasil, visando conforto e sustentabilidade.

Devido à fase em que se encontra a construção da edificação do estudo de caso, não foi possível fazer a conferência presencialmente com aparelhos data logger, pois ela encontra-se paralisada. Nas Figuras 10 e 11 estão apresentados detalhes da edificação em construção.

Figura 10 - Parede taipa de pilão estudo de Caso



Fonte: Autora (2023).

Figura 11 - Construção edificação taipa de pilão



Fonte: Autora (2023).

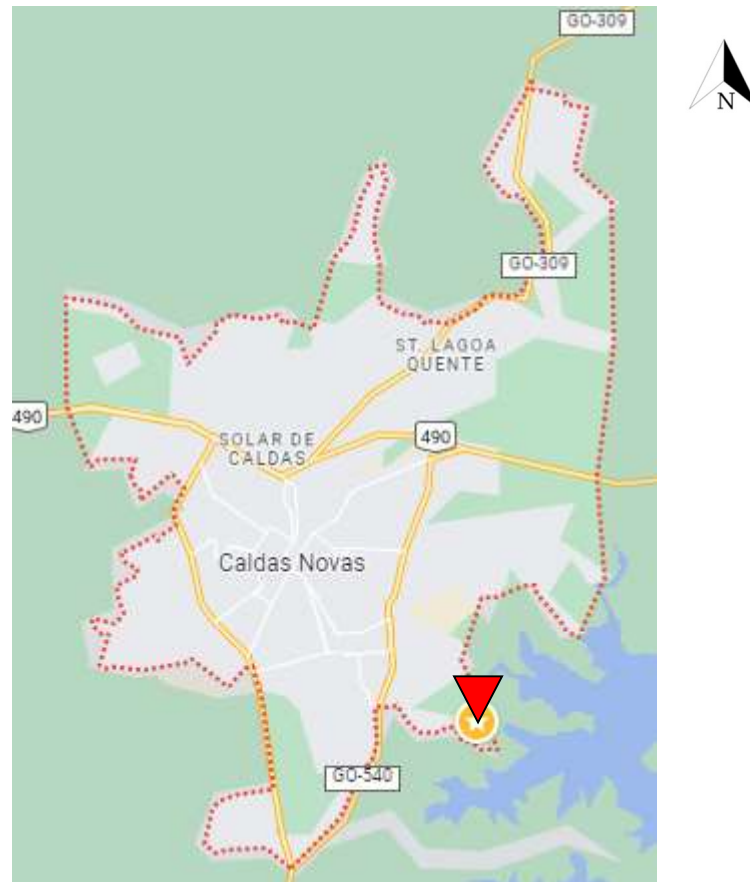
3.1 CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

O estudo de caso foi baseado em uma edificação de taipa de pilão com solo tipo solo-cimento, que foi construída na cidade de Caldas Novas, Goiás. Ela está localizada no Condomínio Marinas di Caldas, cuja localização é mostrada nas Figuras 12 e 13.

A cidade de Caldas Novas é conhecida como a maior estância hidrotermal do mundo, atrai milhares de visitantes em busca das incríveis propriedades terapêuticas de suas águas. Localizada na região centro-oeste, no estado de Goiás, a cidade se tornou um destino famoso pelas suas fontes termais e resorts luxuosos.

O Condomínio Marinas de Caldas é um empreendimento localizado em Caldas Novas, com 8 minutos de distância do centro da cidade. Ele fica à beira do Lago Corumbá e conta com guarda-barcos, rampa de acesso, quiosques próximos ao lago e mata reservada. O condomínio oferece segurança 24 horas.

Figura 12 - Localização edificação em relação a cidade de Caldas Novas



Fonte: Google Maps (2023)

Legenda:



-  Condomínio Marina di Caldas
-  Delimitação Perímetro urbano Caldas Novas

Figura 13 - Localização Estudo de Caso



Fonte: Google Maps (2023)

Foram analisados, a princípio, as Plantas dos pavimentos térreo e superior (Figura 14). Essa edificação se refere a uma habitação unifamiliar com áreas de, aproximadamente, 235,15 m² (térreo) e 182,95 m² (superior), respectivamente, totalizando 418,10 m². O pavimento térreo abriga ambientes de garagem, *living*, escritório, sala de TV, cozinha, depósito, varanda, academia, sauna e banheiros. No pavimento superior encontra-se mezanino, quartos, varandas, banheiros e lavanderia. Os ambientes em destaque na Figura 14 foram os ambientes escolhidos para as análises dos estudos, a cozinha/sala de tv foi escolhida por ser o ambiente de longa permanência mais utilizado da residência, porém por conter grandes panos de vidros optou-se também pela escolha da suíte 2, que é um ambiente de longa permanência que possui maior predominância de fechamento em taipa de pilão. Vale ressaltar que a NBR 15575:2021 especifica que os ambientes que devem ser analisados para verificar os critérios de eficiência energética são os de longa permanência.

A entrada principal está voltada para a fachada norte/noroeste onde possui alguns panos de vidros que estão localizados na escada, closet e escritório. Já a área de maior incidência do sol da tarde (fachada oeste), foi projetada com uma maior espessura de paredes e sem aberturas buscando aumentar o atraso térmico, uma vez que essa fachada recebe maior irradiação solar. Os ambientes de longa permanência como sala, cozinha, quartos, varanda, foram voltadas suas aberturas para a fachada leste, que recebe o sol da manhã.

Figura 14 – Plantas Pavimento térreo (a) e pavimento superior (b)



Fonte: Imagem feita pela autora (adaptado do Projeto de Fernando Alves da Silva) (2023).

Na Figura 15 pode ser vista a representação da fachada frontal da edificação. Conforme pode ser observado a fachada apresenta grandes panos de vidro localizados, respectivamente, na escada, closet e escritório. Considerando que essa fachada se localiza a norte/noroeste e, portanto, com incidência do sol da tarde, tem comprometer o conforto térmico nesses ambientes.

Figura 15- maquete 3D - Casa taipa de pilão solo cimento (estudo de caso)



Fonte: Autora (adaptado do Projeto de Fernando Alves da Silva) (2023).

3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Foi feita a análise da taipa de pilão (com solo e adição de cimento e cal), verificando sua possibilidade de ser uma boa opção de vedação para os diferentes climas brasileiros, levando em consideração o conforto térmico e eficiência energética. Para atingir esse objetivo de análise como foi descrito anteriormente será utilizado a interface Open Studio. Porém, para se fazer a simulação são necessários dados do material, sendo esses a densidade, calor específico, condutividade térmica. Além disso, o estudo buscou determinar o tipo de solo existente no estudo, para isso foi coletado uma amostra do solo utilizado na construção para realizar as análises. A metodologia para a definição desses dados encontra-se na sequência.

3.2.1 Determinação granulométrica do solo

Para a caracterização do material foi realizado dois ensaios para a determinação granulométrica do solo. Em um deles fez-se o peneiramento grosso e fino. No outro foi realizado uma sedimentação com água destilada. Todos os Procedimentos e cálculos foram baseados nas normas: NBR 7181 (2016), NBR 5734 (1989) e NBR 6457 (2016).

a) **Peneiramento grosso**

Trabalhou-se com uma amostra representativa de 1kg de solo destorroado que foi passado em uma peneira nº 10 (2,0 mm) (Figura 16a). O material que ficou retido na peneira foi lavado na própria peneira. Desta forma foi retirado todo o material fino aderente aos grãos do material retido. Foi transferido todo material retido e lavado para uma capsula numerada que foi levada para a estufa para a secagem, durante um período de 12 horas. Esse material depois foi colocado em uma dessecadora (Figura 16b).

Figura 16 - Solo em estudo e material na dessecadora



(a)



(b)

Fonte: Autora (2023).

Procedeu-se ao peneiramento do material seco nas peneiras 50,0- 38,0 - 25,0 – 19,0 – 9,5 – 4,8 mm de diâmetro. Foram pesadas as frações do material retidas em cada peneira. Calcularam-se as percentagens do material retidas em cada uma das peneiras, em relação ao peso da amostra total seca.

Na Figura 17 é apresentada a série de peneiras com as quais foram feitos os peneiramentos.

Figura 17- Jogo de Peneiras Granulométricas



Fonte: Autora (2023).

b) Sedimentação

Do material que passou na peneira nº 10 (2,00 mm) retirou-se 500 g. Colocou-se o material em um Becker, adicionando 200 ml de água deionizada (Figura 18).

Figura 18 - Pesagem do material

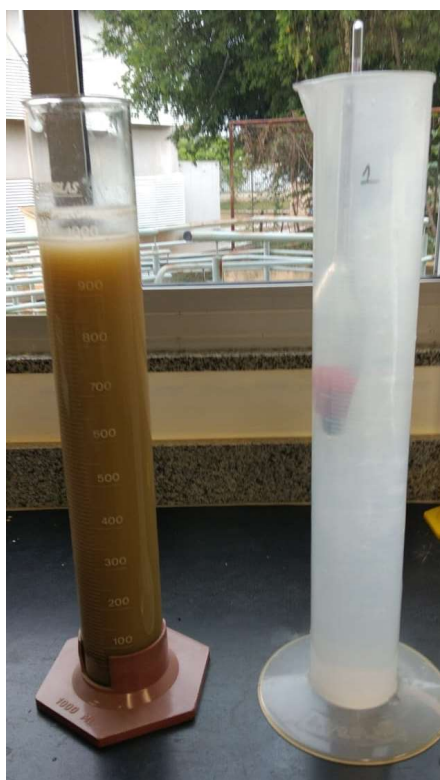


Fonte: Autora (2023).

Deixou-se a amostra em repouso por 12 horas e depois toda mistura foi transferida para um copo dispersor. Submeteu-se a mistura a ação do dispersor, por aproximadamente 15 minutos e depois transferiu-se o material para uma proveta graduada, sendo adicionado água destilada até atingir a marca de 1000 ml. Tapou-se a boca da proveta com a palma da mão e agitou-se durante 1 minuto. Após a agitação, colocou-se a proveta sobre uma bancada e acionou-se o cronômetro, anotando à hora exata do início da sedimentação. Mergulhou-se o densímetro na proveta, fazendo-se as leituras correspondentes aos tempos de 15 segundos, 30 segundos, 1 minuto e 2 minutos. Depois disso, retirou-se o densímetro e mediu-se a temperatura e, em seguida, fez-se as leituras subsequentes de 4, 8, 15 e 30 minutos e 1, 2, 3, 4, 8 e 24 horas.

Houve o cuidado de retirar o densímetro da proveta de água e colocar na dispersão cerca de 20 segundos antes de cada leitura, de forma que o densímetro ficasse estável (Figura 19).

Figura 19-Experimento Sedimentação (proveta, densímetro)



Fonte: Autora (2023).

c) Peneiramento Fino

Ao terminar a leitura do ensaio de sedimentação, a amostra foi despejada e lavada na peneira N°200 (0,075 mm), o material retido na peneira foi transferido para uma cápsula e secado na estufa. O material seco foi passado em um conjunto de peneiras (1,18 – 0,60- 0,42 –

0,25 – 0,15 – 0,075 mm) e levado ao agitador “Granutest” por 5 minutos. Após a vibração foi pesado as proporções retidas em cada peneira (Figura 20).

Figura 20 -Peneiramento Fino



Fonte: Autora (2023).

d) Dados resultantes do experimento

Nas Tabelas 1 a 5 estão apresentados os resultados obtidos nos experimentos descritos anteriormente.

TABELA 1- Dados Peneiramento Grosso

Peneiramento Grosso		
Peneiras		Solo Retido (g)
Nº	mm	
2"	50,00	0,000
1 ½"	38,00	0,000
1"	25,00	53,343
¾"	19,00	14,824
⅜"	9,50	44,035
4"	4,80	29,868
	fundo	41,117

Fonte: Autora (2023).

TABELA 2- Dados Sedimentação

Sedimentação		
Tempo	Leitura no densímetro	Temperatura (°C)
15 s	24	28,0
30 s	22	28,0
1 m	19	28,0
2 m	16	28,0
4 m	12	27,7
8 m	11	27,5

15 m	9	27,5
30 m	8	27,2
1 h	8	27,2
2 h	7	27,0
4 h	6	27,0
8 h	6	27,0
24 h	5	26,0

Fonte: Autora (2023).

TABELA 3- Dados Peneiramento Fino

Peneiramento Fino		
Peneiras		Solo Retido (g)
Nº	mm	
16	1,18	0,006
30	0,60	0,091
40	0,42	0,222
60	0,25	1,057
100	0,15	7,990
200	0,075	26,719
	fundo	5,882

Fonte: Autora (2023).

TABELA 4- Dados Umidade

UMIDADE			
	3	4	8
Solo úmido + tara(g)	40,784	40,322	40,160
Solo seco + tara(g)	40,685	40,225	40,066
Água(g)	0,099	0,097	0,094
Tara(g)	10,456	10,567	10,604
Solo Seco (g)	30,229	29,658	29,462
Umidade (%)	0,33	0,33	0,32
Umidade Média (%)	0,32		

Fonte: Autora (2023)

TABELA 5- Quantidade de Solo experimento

Quantidade de Solo (g)	
Solo Úmido Total (g)	1000,0
Solo Seco Total (g)	996,8
Solo Seco Retido Peneira 10 (g)	183,0
Solo Seco Passante Peneira 10 (g)	813,8

Fonte: Autora (2023)

e) Cálculo e definição curva granulométrica

Após os testes de análise granulométrica com peneiramento e sedimentação foram feitos os seguintes cálculos:

Percentual Retido (%): Material retido dividido pelo peso total da amostra (massa total da amostra), multiplicando esse valor por 100.

Percentual Retido Acumulado (%): Soma das percentagens retidas nas peneiras de abertura de malha maior e igual a uma determinada peneira.

Percentual Passante Acumulado (%): 100 menos o percentual retido acumulado.

A partir desses cálculos, cujos resultados estão apresentados nas Tabelas 6 e 7, conseguiu-se gerar a Curva Granulométrica e definir o tipo de solo utilizado no estudo de caso.

TABELA 6- Percentuais Retidos e Percentuais Passantes Acumulados- Peneiramento Grosso

Tipo de Peneiramento	Peneiras (No.)	Abertura (mm)	Material Retido (g)	Percentual Retido (%)	Percentual Retido Acumulado (%)	Percentual Passante Acumulado (%)
Grosso	2"	50,00	0,000	0,000	0,000	100
	1 ½"	38,00	0,000	0,000	0,000	100
	1"	25,00	53,343	29,119	29,119	70,880
	¾"	19,00	14,824	8,092	37,211	62,788
	⅜"	9,50	44,035	24,038	61,249	38,750
	4"	4,80	29,868	16,304	77,554	22,445
	fundo	-	41,117	22,445	100	0
Massa Total da Amostra			183,187			

Fonte: Autora (2023).

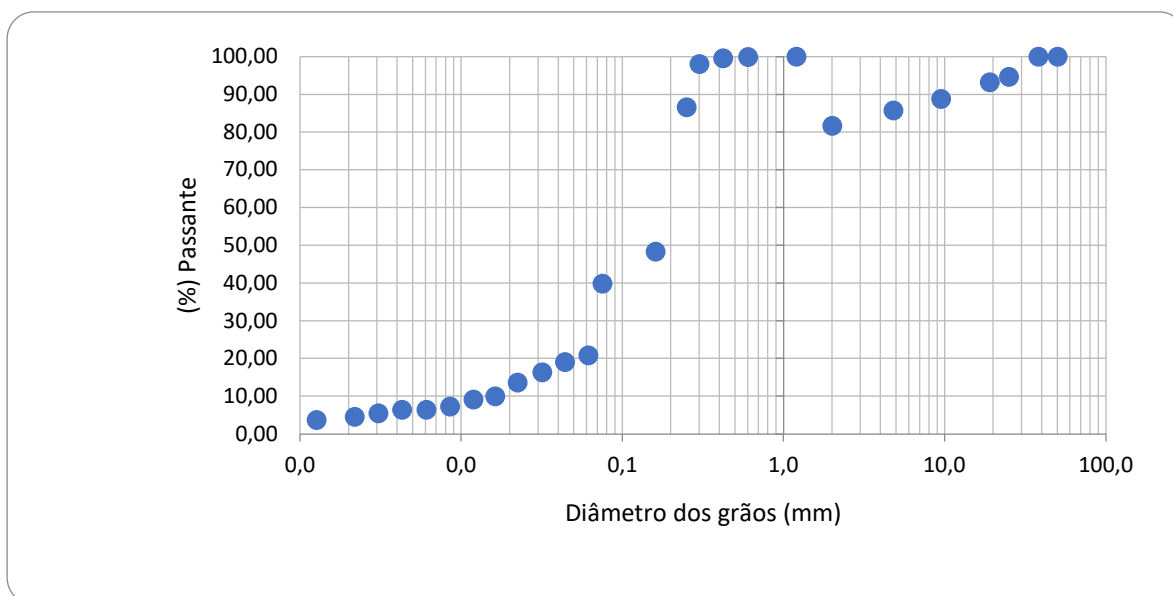
TABELA 7- Percentuais Retidos e Percentuais Passantes Acumulados- Peneiramento Fino

Tipo de Peneiramento	Peneiras (No.)	Abertura (mm)	Material Retido (g)	Percentual Retido (%)	Percentual Retido Acumulado (%)	Percentual Passante Acumulado (%)
Fino	16	50,00	0,006	0,014	0,014	99,985
	30	38,00	0,091	0,216	0,231	99,768
	40	25,00	0,222	0,528	0,760	99,239
	60	19,00	1,057	2,518	3,278	96,721
	100	9,50	7,990	19,038	22,317	77,682
	200	4,80	26,719	63,666	85,984	14,015
	fundo	-	5,882	14,015	100	0
Massa Total da Amostra			41,967			

Fonte: Autora (2023).

A partir dos dados das Tabelas 6 e 7 foi possível gerar o gráfico da curva granulométrica (Figura 21) para assim conseguir definir o solo que foi utilizado no estudo de caso.

Figura 21- Curva Granulométrica



Fonte: Autora (2023).

Na Tabela 8 estão apresentados as faixas e o percentual de solo contido em cada faixa granulométrica.

TABELA 8- Porcentagem de Solo da amostra

Fração do Solo	Faixa (mm)	Porcentagem (%)
Argila	<0,002	3,62
Silte	0,002-0,06	17,21
Areia Fina	0,06-0,20	40,13
Areia Média	0,20-0,60	51,58
Areia Grossa	0,60-2,0	18,24
Pedregulho	2,0-6,0	5,70

Fonte: Autora (2023).

A partir da análise granulométrica do solo verificou-se que a maior parte dele é da razão areia, totalizando 73,47% da amostra.

Para a construção de paredes com taipa pode ser utilizados outros tipos de solos, mas Hoffmann Minto e Heise (2020) destacam que não é qualquer tipo de solo que é adequado à taipa, sendo necessário conhecer suas principais características, assim como as alternativas para a utilização de uma terra que naturalmente não se mostre totalmente adequada, seja por correção granulométrica ou pelo uso de aglomerantes e outros materiais. Os mesmos autores

destacam que, de maneira mais genérica, os solos mais indicados para a taipa de pilão são os arenosos. Esse material quando bem selecionado e bem usado, além de necessitar de pouco ou nenhum aglomerante ou outros aditivos, pode resultar em paredes bem resistentes e duráveis.

A análise em questão não tem como objetivo desenvolver um estudo sobre o melhor solo, mas fez a análise do solo utilizado no estudo de caso para assim conseguir definir os dados necessários para a análise térmica, como calor específico e condutividade térmica.

Ressalta-se que diante de qualquer projeto que use o método de taipa de pilão, tanto para vedação comum, quanto para uma vedação com objetivo de melhorar a eficiência térmica e energética, faz se necessário o entendimento do solo que se está utilizando.

Além do solo arenoso, o proprietário da edificação utilizou aglomerantes na sua composição, sendo 6,3% de cimento e 7,6% de cal, para melhorar as características de resistência, agregação de partículas, e trabalhabilidade.

3.2.2 Definição dos dados a serem utilizados no Open Studio

Antes de iniciar a simulação alguns parâmetros de materiais precisaram ser definidos, então primeiramente houve a compreensão da edificação em seu todo, verificando quais materiais foram utilizados em sua cobertura, forro, piso, nas paredes internas e externas, esquadrias. Para a simulação no Open Studio são necessários pelo menos a identificação de piso, parede externa e parede interna, e cobertura para funcionar corretamente.

Os dados necessários para cada material são: espessura (m), densidade (kg/m^3), calor específico (J/kg.K) e condutividade (W/m.K), e estão apresentados na Figura 22.

Figura 22 - Materiais Open Studio

Roughness:	Thickness:
Smooth	0.040000 m
Conductivity:	Density:
1.750000 W/m·K	2200.000000 kg/m ³
Specific Heat:	Thermal Absorptance:
1000.000000 J/kg·K	0.900000
Solar Absorptance:	Visible Absorptance:
0.700000	0.700000

Fonte: OpenStudio (2023).

Os dados dos retângulos em destaque (vermelhos) (Figura 22) são obrigatórios seu fornecimento para a geração de resultados corretos. Para conseguir esses dados faz-se necessários a análise da norma NBR 15220/2005.

Na Tabela 9 estão apresentados os materiais do estudo de caso com suas devidas propriedades térmicas segundo NBR 15220/2007.

TABELA 9- Propriedade térmicas de acordo com NBR 15220/2007

Material	Subdivisão materiais	Densidade de massa aparente (kg/m ³)	Condutividade Térmica (W/(m.K))	Calor Específico (kJ/(kg.K))
Telha Fibrocimento	-	2000	0,95	0,84
Laje de Cobertura e Laje entre pisos	Concreto Normal	2300	1,75	1,00
	Poliestireno Estrudado	32,5	0,035	1,42
Piso térreo-Concreto Normal	-	2300	1,75	1,00
Esquadrias de vidro	-	2500	1,00	0,8
Parede Alvenaria	Cerâmica	1600	0,90	0,92
	Argamassa	2000	1,15	1,00

Fonte: NBR 15220/2005, adaptado por autora (2023).

O estudo com a taipa de pilão, por se tratar de um material não convencional na construção, não se encontra os dados na norma NBR 15220/2007. Dessa forma os dados de densidade, condutividade térmica e calor específico tiveram que ser analisados independentes.

a) **Densidade solo + cimento + cal (Taipa)**

Para a análise de densidade do material da parede de taipa (solo + cimento+ cal) foi feito um corpo de prova para conseguir tirar o valor de sua massa e o seu volume. Para isso foi utilizada a estrutura do Laboratório de Materiais de Construção da Faculdade de Engenharia da UFCAT.

Para o teste foi utilizado o molde cilíndrico para corpo de prova de concreto na medida de 10x20 cm. O material utilizado foi baseado no traço especificado pelo proprietário da casa de taipa em estudo. Então foi utilizado uma proporção de 6,3% de cimento, 7,6 % de cal, 12% água, sobre o valor total do solo.

Para o corpo de prova em específico foi utilizado 3kg de material sendo 189 g de cimento, 228 g cal hidratada, 1.983 kg de solo e 600 g de água. Para a moldagem do corpo de prova fez-se uma prévia mistura dos materiais com misturador elétrico para garantir a uniformidade. Posteriormente, o material foi introduzido dentro do molde, tendo a quantidade de camadas e golpes para adensamento conforme a NBR 5738:2015. Nesse caso, foram necessárias duas camadas, sendo que cada uma delas adensadas aplicando 12 golpes com haste metálica, distribuídos uniformemente na sessão transversal do corpo de prova. A última camada o material excedeu o volume do molde, para que fosse possível realizar o rasamento com a régua metálica, sem adicionar material após o adensamento.

A desmoldagem do corpo de prova ocorreu após 24 horas de cura, seguida da pesagem (Figura 23) para assim realizar o cálculo de densidade do material.

Para o Cálculo de densidade foi utilizado a seguinte fórmula:

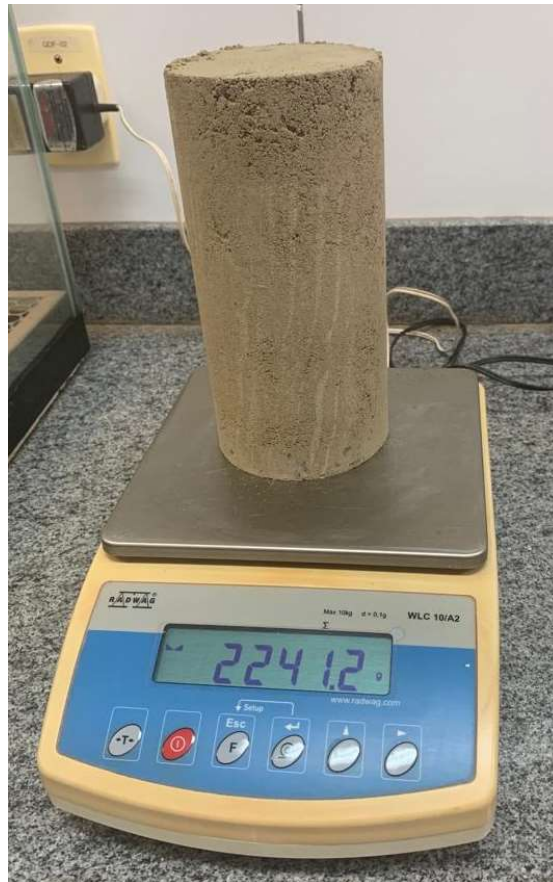
$$D = \frac{m}{v}$$

Sendo:

m= massa

v= volume

Figura 23 - Pesagem Corpo de Prova



Fonte: Autora (2023).

$$D = \frac{m}{v}$$

Assim obtemos o seguinte resultado:

$$D = \frac{2,2412 \text{ kg}}{0,00157 \text{ m}^3}$$

$$D = 1427 \text{ kg/m}^3$$

Ou massa específica de:

$$M = 1,427 \text{ g/m}^3$$

A compreensão de densidade ou massa específica faz se necessário não somente para utilização no software, mas também para entender o comportamento do material. De acordo com Silva e Milani (2022) estudos demonstraram que há uma forte relação entre massa específica do material e condutividade térmica, quanto maior a massa específica, menos poros

presentes entre os grãos, logo a condutividade térmica será menor, pois o ar entre os poros age como isolante térmico.

b) Condutividade Térmica e Calor Específico (Taipa)

Para a análise de calor específico e condutividade térmica da mistura de solo com cimento e cal seria necessário um estudo específico para o material com equipamentos adequados como espectrômetro, condutivímetro, ou outros aparelhos que cumprissem a mesma função, porém tais equipamentos não foram encontrados na Universidade Federal de Catalão e também em outras Universidades e laboratórios pesquisados. Com isso esses dados foram baseados em análises de outros autores.

Para a definição de um valor para Condutividade Térmica (quantidade de calor necessária para que cada grama de uma substância passe por uma mudança de temperatura de 1°C) utilizou-se o trabalho de Silva e Milani (2022) como referência. Nesse trabalho as autoras utilizaram 35 publicações baseadas em um levantamento bibliométrico de análise científica nacional e internacional sobre propriedades térmicas do solo como material de construção. Foram consideradas para a análise os seguintes fatores: região geográfica na qual os trabalhos foram desenvolvidos, a classificação granulométrica do solo (dividida em arenoso, silteoso e argiloso) e o tipo de moldagem do elemento construtivo.

De acordo com a norma NBR 15520/2022 a condutividade térmica da areia (maior porcentagem do solo em estudo) é 0,2 cal/g°C, porém Silva e Milani (2022) ressaltam que porcentagens de cimento na amostra pode acarretar o aumento da condutividade térmica.

Para o valor de calor específico foi utilizado como referência o trabalho de Jiang *et al.* (2020), onde os autores fizeram uma análise do desempenho térmico de uma parede de taipa, com diversas simulações mostrando-se resultados numéricos consistentes com os dados experimentais. Segundo os estudos de Jiang *et al.* (2020) os valores de calor específico para a parede de taipa varia de 648 J/kg.K a 997 J/kg.K. Neste estudo foi adotada a média desses valores, ou seja 830 J/kg. K (0,83 kj(kg.K)).

Os solos devidos as suas diferentes classificações podem possuir diferentes valores para calor específico e condutividade térmica.

Para a definição do melhor valor, foram analisados os materiais mais próximos do estudo de caso, escolhendo assim o solo arenoso, com presença de cimento (Tabela 10).

TABELA 10- Propriedade térmicas da taipa de pilão (solo + cimento + cal)

Material	Subdivisão materiais	Densidade de massa aparente (kg/m ³)	Condutividade Térmica (W/(m.K))	Calor Específico (kJ/(kg.K))
Solo + cimento + Cal	-	1427	0,7 a 1,1	0,83

Fonte: Jiang et al (2020); Silva e Milani (2022) adaptado pela autora (2023).

3.3 DEFINIÇÕES DOS CONTEXTOS BIOCLIMÁTICOS

Para atingir o resultado esperado, além do software foi necessária a compreensão dos contextos bioclimáticos de cada zona bioclimática analisada. Vale ressaltar que todas as cidades que se encontram na mesma zona bioclimática são relativamente homogêneas quanto ao clima.

Os dados gerados pelo Open Studio são muitos amplos e de difícil compreensão quando analisado considerando todo o ano, pois ele apresenta dados de todos os dias e horas durante um ano. Assim, para facilitar o entendimento, antes da simulação foram analisados os meses de maior e menor temperatura do ano de cada zona, para assim com o software realizar a análise desses meses em específico.

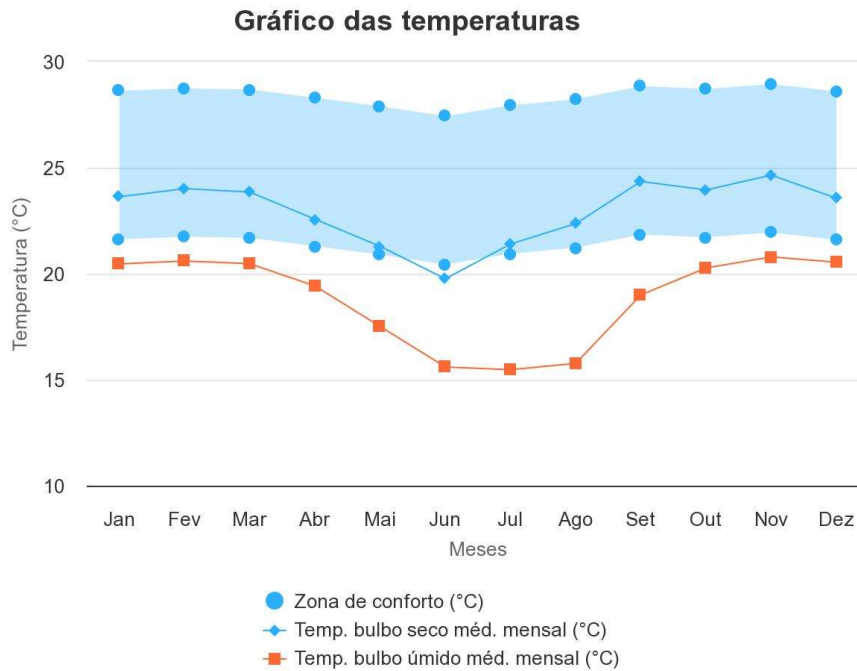
3.3.1 Zona Bioclimática 4

Iniciou-se a análise pela zona bioclimática 4, região onde a edificação estudada se encontra. A edificação está sendo construído em Caldas Novas - Goiás, mas o arquivo climático utilizado para a análise é da cidade de Pires do Rio – Goiás, por não existir o arquivo climático (este arquivo é inserido no Open Studio para a realização da análise) da cidade de Caldas Novas no INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. A cidade de Pires do Rio se localiza a 68,5 km da cidade de Caldas Novas e se encontra na mesma zona bioclimática.

No *site* da Projeteer foi possível encontrar gráficos obtidos a partir dos dados climáticos do INMET (2016), sendo esses os dados mais atualizados. Nesses gráficos foi possível identificar as características climáticas dessa região como temperatura, umidade relativa, radiação mensal e zona de conforto para o ano de referência.

Na Figura 24 estão representadas as temperaturas máximas, médias e mínimas e zona de conforto. A menor temperatura de bulbo úmido foi no mês de julho apresentando 15,47 °C, a temperatura mínima de bulbo seco foi 19,76 °C, no mês de junho. A maior temperatura de bulbo úmido foi de 20,79 °C e a temperatura de bulbo seco de 24,65 °C em novembro, e a zona de conforto está entre 20,43 °C a 28,94 °C.

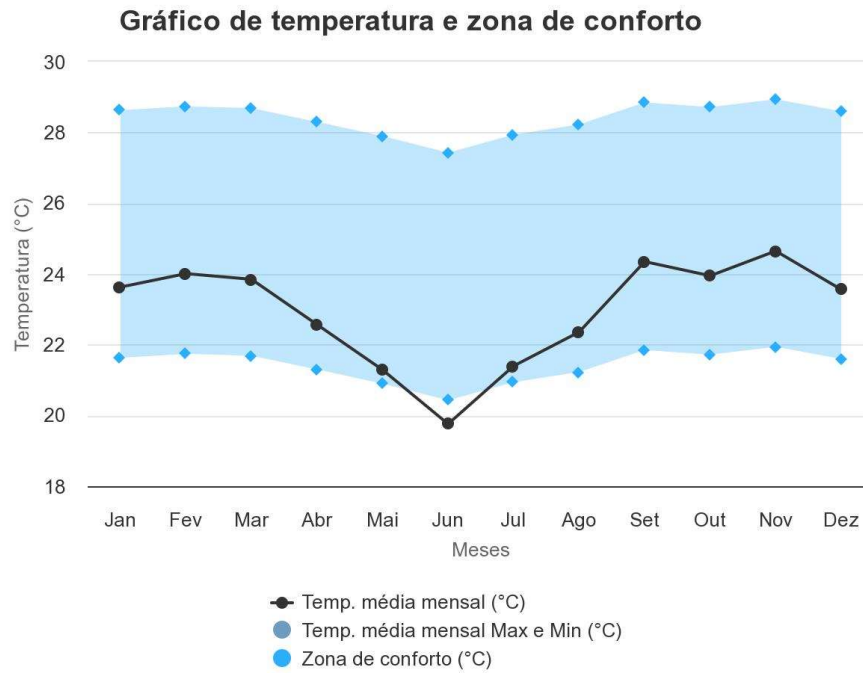
Figura 24- Gráfico de temperaturas da cidade de Pires do Rio - GO (2016)



Conforme pode ser observado na Figura 25 a menor temperatura média mensal foi obtida no mês de junho, apresentando 19,76 °C, sendo a temperatura máxima de conforto de 27,43 °C e a mínima de 20,43 °C. Já a maior temperatura média mensal foi em novembro, atingindo 24,65 °C, com temperatura máxima de conforto de 28,94 °C e mínima de 21,94 °C.

Segundo a ASHRAE 55 (2013), conforto térmico é um estado de espírito que reflete a satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa. Se o balanço de todas as trocas de calor a que está submetido o corpo for nulo e a temperatura da pele e o suor estiverem dentro de certos limites, pode-se dizer que o homem sente conforto térmico. Considerando que a temperatura de conforto não é uma constante, e sim varia de acordo com a estação e as temperaturas as quais as pessoas estão acostumadas, adotou-se um modelo adaptativo para a delimitação da zona de conforto térmico.

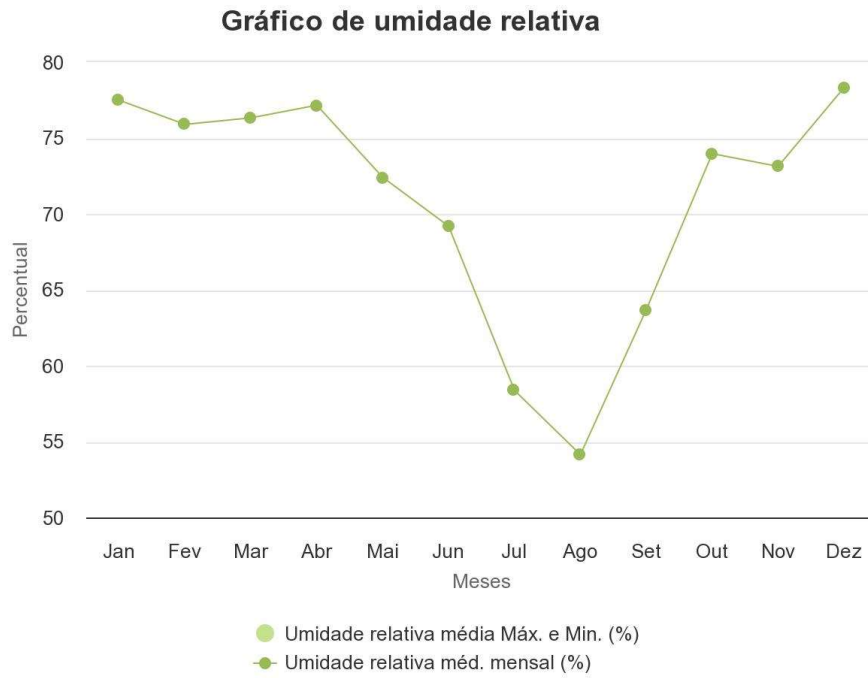
Figura 25 - Gráfico de temperatura e zona de conforto da cidade de Pires do Rio -GO (2016)



Na Figura 26 está apresentada as medições de umidade relativa do ar, sendo esta a relação entre a quantidade de água existente no ar (umidade absoluta) e a quantidade máxima que poderia haver na mesma temperatura (ponto de saturação). Nos períodos em que a umidade é mais alta há maior desconforto térmico, havendo menos amplitude térmica durante o dia, e as noites são mais quentes. Quando a umidade relativa do ar é mais baixa, a amplitude é maior e as noites são mais frias.

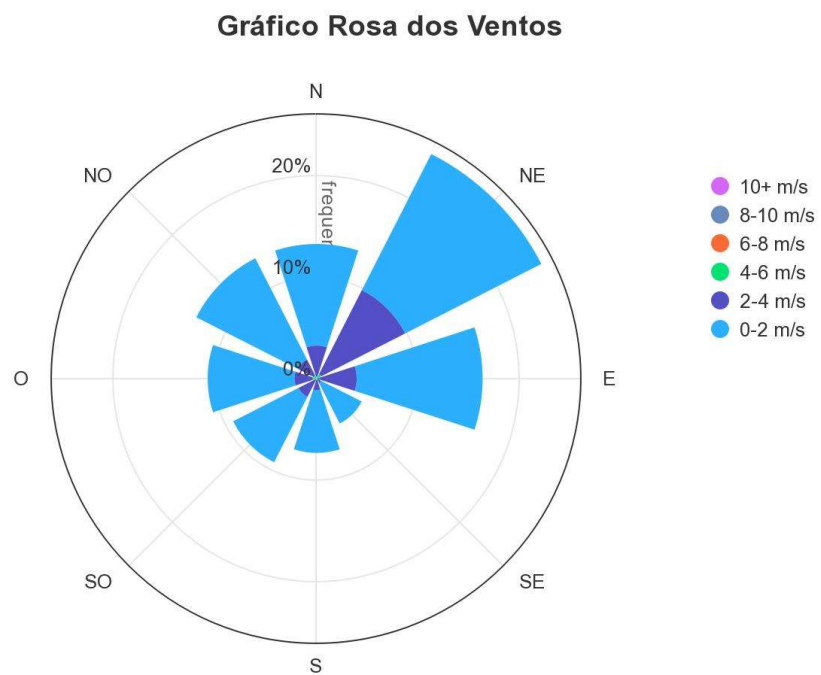
De acordo com a OMS (Organização Mundial da Saúde) o nível ideal de umidade relativa do ar ideal deve ficar entre 50% e 60%. Conforme mostrado na Figura 26 a umidade relativa obteve os melhores índices nos períodos de julho (58,37%) e agosto (54,14%).

Figura 26 - Gráfico de umidade relativa da cidade de Pires do Rio - GO (2016)



Na Figura 27 estão mostradas as estatísticas sobre o vento, reunidas ao longo do tempo. Essas medidas incluem a velocidade do vento, direção e frequência.

Figura 27- Gráfico Rosa dos Ventos da cidade de Pires do Rio -GO (2016)



Observa-se que a maior predominância de ventos é proveniente da direção nordeste e leste, fachadas em que se concentram as aberturas dos ambientes em estudos (sala de tv/cozinha e suíte). Para se ter maior conforto é indicado que as aberturas dos ambientes desta zona sejam voltadas para essas direções para aproveitamento da ventilação natural.

Conforme demonstrado na Figura 28 a zona bioclimática 4 possui condições de conforto térmico em 44% do ano, sendo que em 33% a situação é de desconforto por calor. Assim, faz-se necessária a utilização de estratégias bioclimáticas que reduzam essa sensação de aquecimento. As estratégias sugeridas estão demonstradas na Figura 29, que são: ventilação natural, inércia térmica e sombreamento.

Figura 28- Condições de conforto Zona Bioclimática 4 (2024)



Fonte: Projeteec (2024).

Figura 29- Estratégias Bioclimáticas Zona Bioclimática 4 (2024)

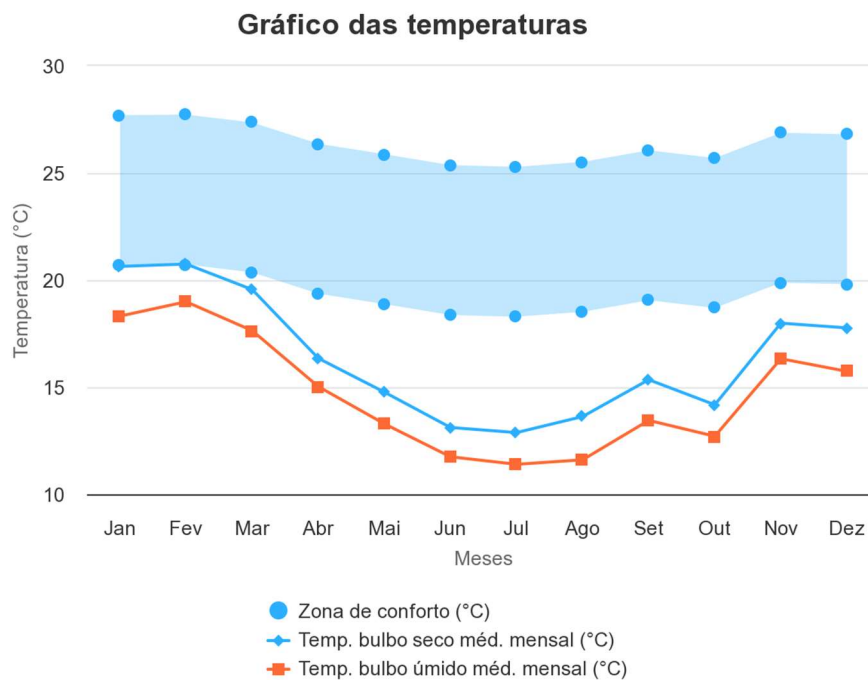


Fonte: Projeteec (2024).

3.3.1 Zona Bioclimática 1

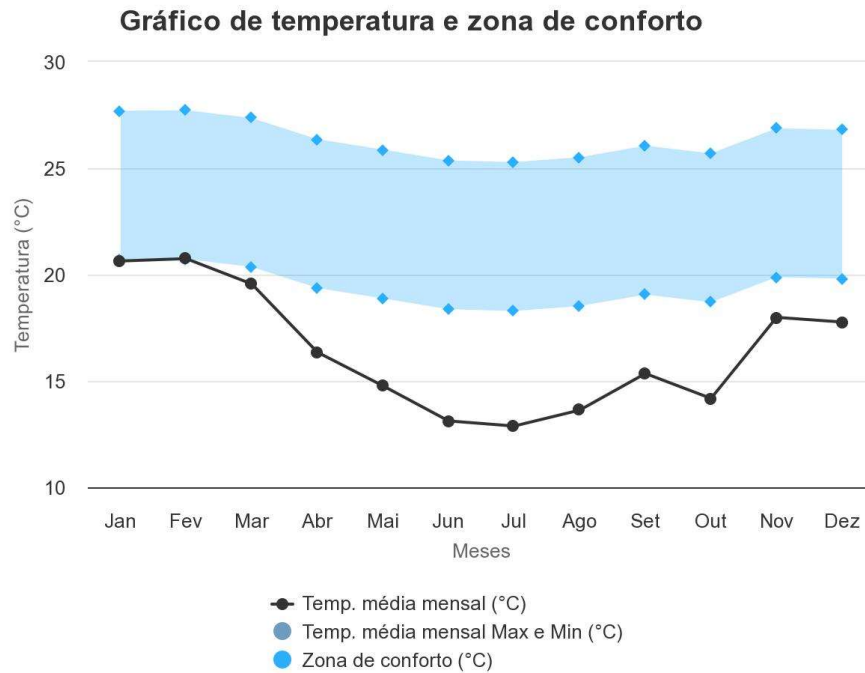
Para a zona bioclimática 1 a cidade adotada para análise foi Curitiba, Paraná. Conforme demonstrado na Figura 30 a menor temperatura de bulbo úmido foi de 11,40 °C e a temperatura menor de bulbo seco apresentou 12,88 °C no mês de julho. Enquanto a maior temperatura de bulbo úmido foi de 18,99 °C e a temperatura maior de bulbo seco também foi em fevereiro com 20,75 °C. Já a zona de conforto desta zona variou de 12,88 °C a 27,70 °C.

Figura 30- Gráfico das temperaturas da cidade de Curitiba- PR (2016)



Conforme apresentado no gráfico de temperatura média mensal e zona de conforto (Figura 31) a menor temperatura mensal foi em julho com 12,88 °C, sendo a temperatura de conforto máxima 25,29 °C e a mínima de 18,29 °C. Já a maior temperatura média mensal foi em fevereiro, alcançando 20,75 °C, com temperatura máxima de conforto 27,73 °C e mínima de 20,73 °C.

Figura 31 - Gráfico de temperatura e zona de conforto cidade de Curitiba- PR (2016)



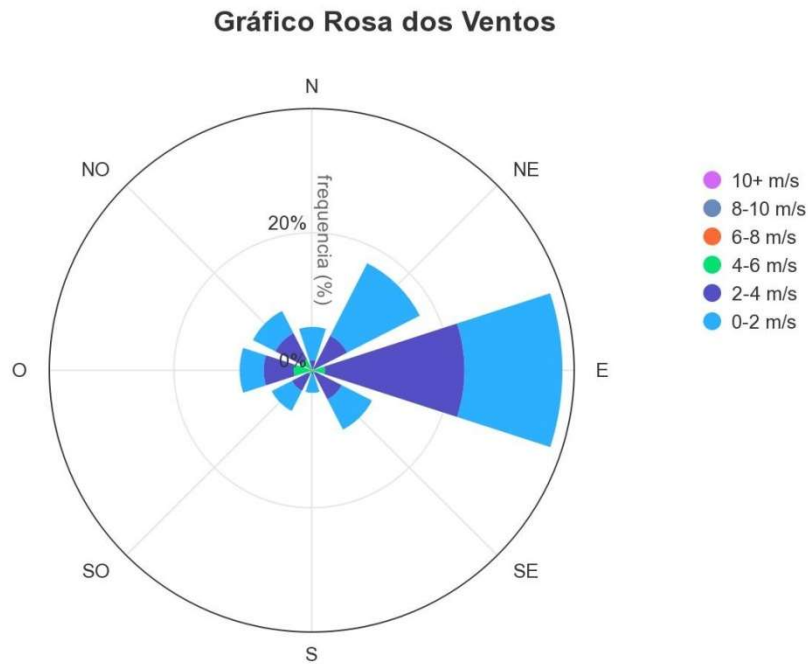
Conforme o gráfico de umidade relativa (Figura 32) a umidade da zona 1 apresentou umidade acima de 80% em todos os meses do ano de 2016, sendo o menor índice em janeiro com 82,86 %. Dessa forma esta zona neste período foi considerada muito úmida.

Figura 32 - Gráfico de umidade relativa cidade de Curitiba- PR (2016)



Observa-se que a maior predominância de ventos desta zona (Figura 33) é proveniente da direção leste e nordeste, fachadas em que se concentram as aberturas dos ambientes em estudos (sala de TV/cozinha e suíte).

Figura 33 - Gráfico Rosa dos Ventos da cidade de Curitiba-PR (2016)



Conforme apresentado na Figura 34 em 77% do ano esta zona bioclimática passa por desconforto por frio e apenas 8% por desconforto por calor.

Figura 34 – Condições de Conforto Zona Bioclimática 1 (2024)



Nesse caso, as estratégias bioclimáticas sugeridas (Figura 35) são: inércia térmica para aquecimento, aquecimento solar passivo e ventilação natural.

Figura 35 – Estratégias Bioclimáticas Zona Bioclimática 1 (2024)



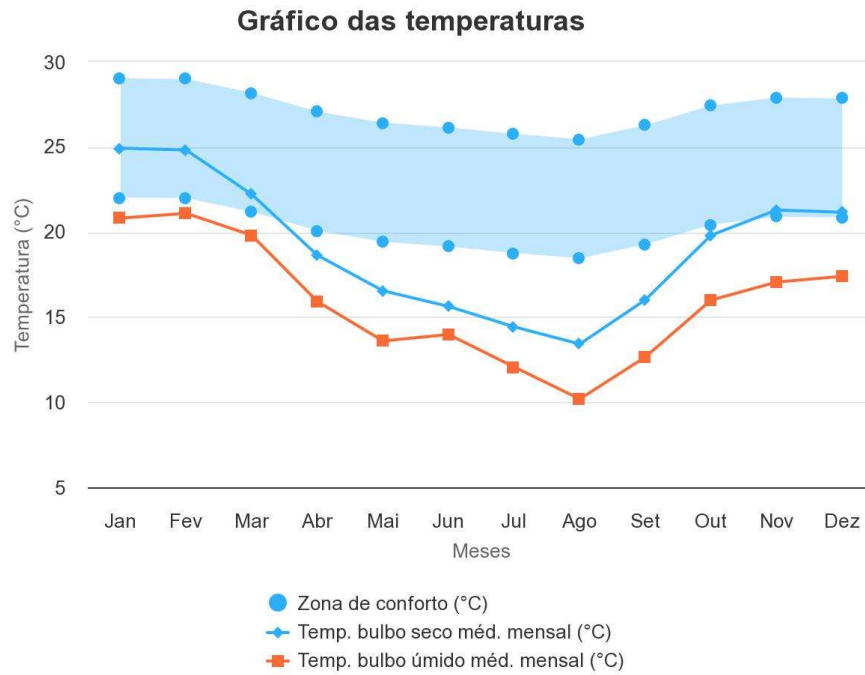
Fonte: Projeteee (2024)

3.3.2 Zona Bioclimática 2

A cidade de Santa Maria - RS foi adotada para representar a zona bioclimática 2.

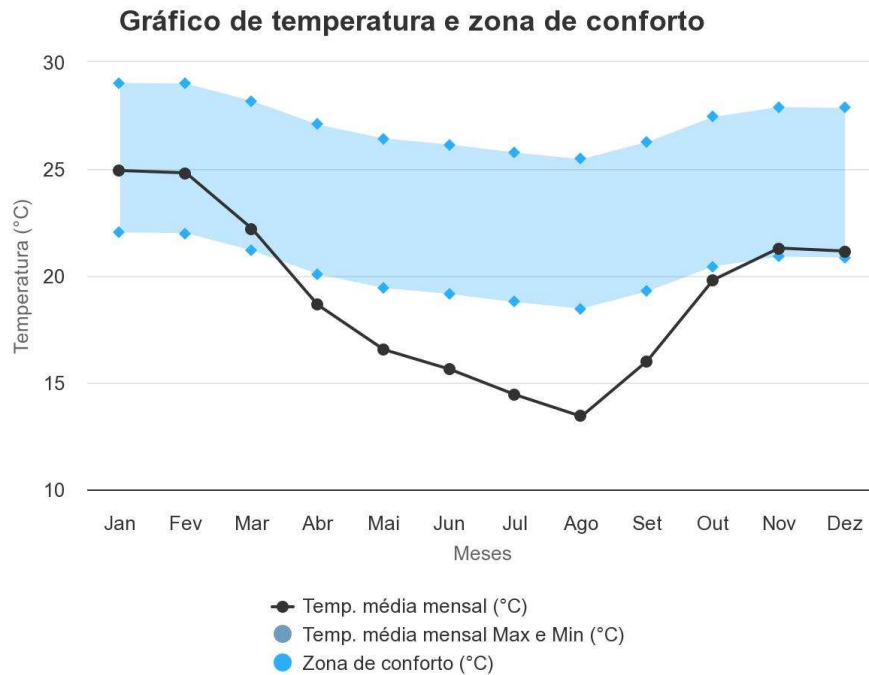
No gráfico de temperatura (Figura 36) é possível observar que a menor temperatura de bulbo úmido ocorreu no mês de agosto apresentando 10,19 °C e a menor temperatura de bulbo seco 13,42 °C no mesmo mês. A maior temperatura de bulbo úmido foi 21,10 °C em fevereiro e maior temperatura de bulbo seco foi 24,94 °C em janeiro.

Figura 36 - Gráfico das temperaturas cidade de Santa Maria - RS (2016)



No gráfico de temperatura média mensal e zona de conforto (Figura 37) é possível observar que a menor temperatura mensal foi em agosto com 13,42 °C, sendo a temperatura máxima de conforto máxima 25,46 °C e a mínima de 18,46 °C. Já a maior temperatura média mensal foi em janeiro, alcançando 24,93 °C, com temperatura máxima de conforto 29,03 °C e temperatura mínima de 22,03 °C.

Figura 37 – Gráfico de temperatura e zona de conforto cidade de Santa Maria - RS (2016)



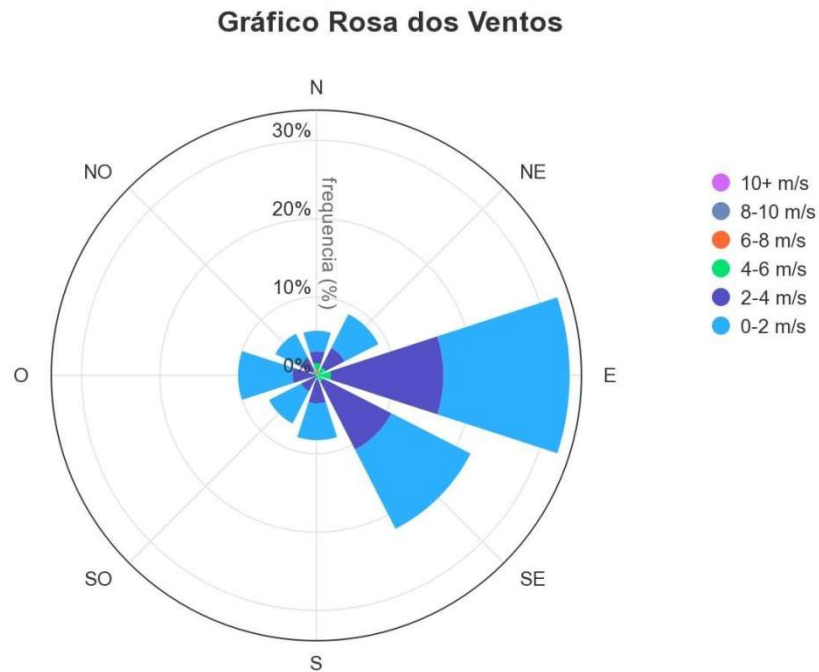
Conforme mostrado na Figura 38 a umidade de Santa Maria - RS apresentou-se em praticamente todos os meses acima de 70% (ano de 2016), sendo o menor índice, e abaixo de 70%, apenas em novembro, atingindo 68,95 %.

Figura 38 – Gráfico de umidade relativa cidade de Santa Maria - RS (2016)



Observa-se que a maior predominância de ventos desta zona (Figura 39) é proveniente da direção leste e sudeste, sendo que os ambientes em estudo concentram maior parte de suas aberturas na fachada leste.

Figura 39 – Gráfico rosa dos ventos cidade de Santa Maria - RS (2016)



Conforme mostrado na Figura 40 esta zona bioclimática possui condição de conforto em 24 % do ano, sendo a condição mais desfavorável ocasionada pelo frio em 56% do ano.

Figura 40 – Condições de conforto (2024)

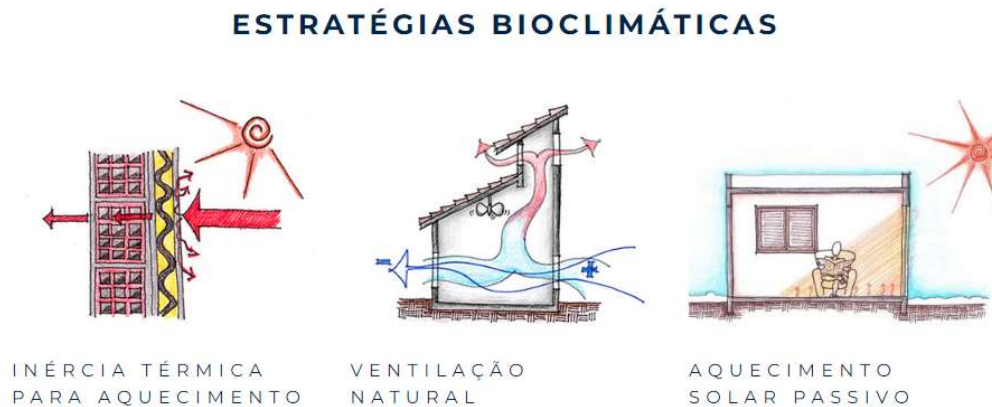
CONDIÇÕES DE CONFORTO



Fonte: Projeteec (2024).

As estratégias bioclimáticas sugeridas (Figura 41) para reverter à situação de desconforto nas edificações desta zona são: inércia térmica, ventilação natural e aquecimento solar passivo.

Figura 41 – Estratégias Bioclimáticas (2024)



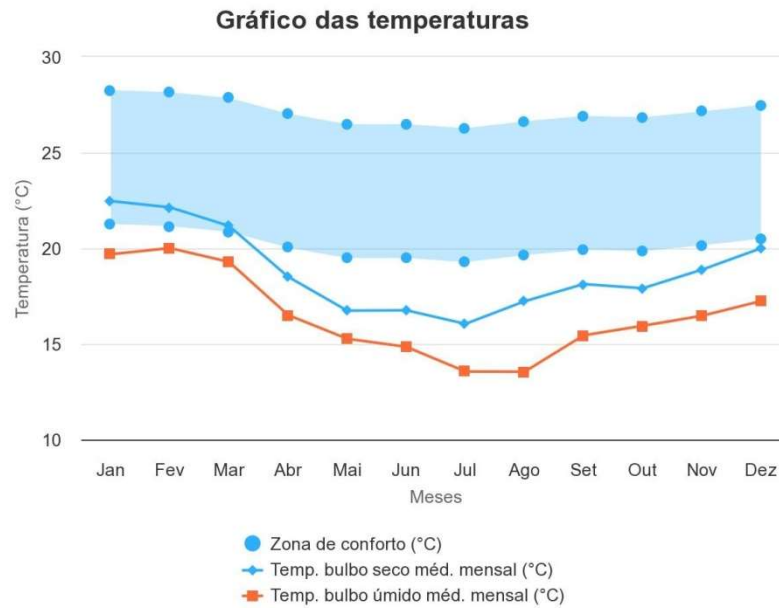
Fonte: Projeteec (2024).

3.3.3 Zona Bioclimática 3

Para a zona bioclimática 3 a cidade escolhida para análise foi São Paulo - SP.

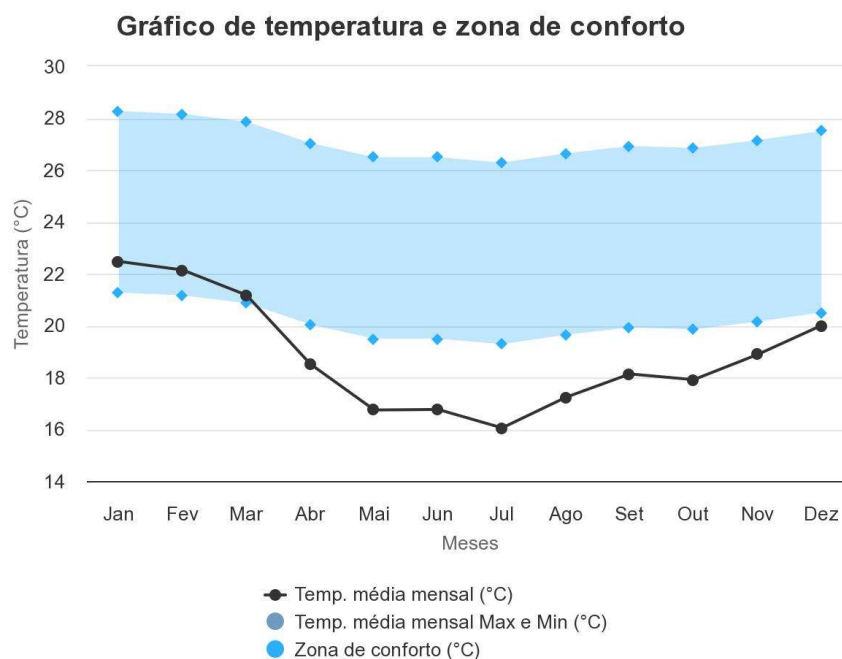
Conforme mostrado no gráfico de temperatura desta região (Figura 42) a menor temperatura de bulbo úmido foi no mês de agosto apresentando 13,55 °C, já a temperatura menor de bulbo seco apresentou 16,05 °C no mês de julho. A maior temperatura atingida de bulbo úmido foi em fevereiro com 20,01 °C, já a temperatura maior de bulbo seco foi em janeiro com 22,47 °C. Já a zona de conforto desta zona variou de 19,49 °C a 26,28 °C.

Figura 42 – Gráfico de temperaturas cidade de São Paulo - SP (2016)



Conforme mostrado na Figura 43 a menor temperatura mensal foi em julho com 16,05 °C, sendo a temperatura de conforto máxima 26,28 °C e a mínima de 19,28 °C. Já a maior temperatura média mensal foi em janeiro, alcançando 22,47 °C, com temperatura máxima de conforto 28,27 °C e temperatura mínima de 21,27 °C.

Figura 43 – Gráfico de temperatura e zona de conforto cidade de São Paulo - SP (2016)



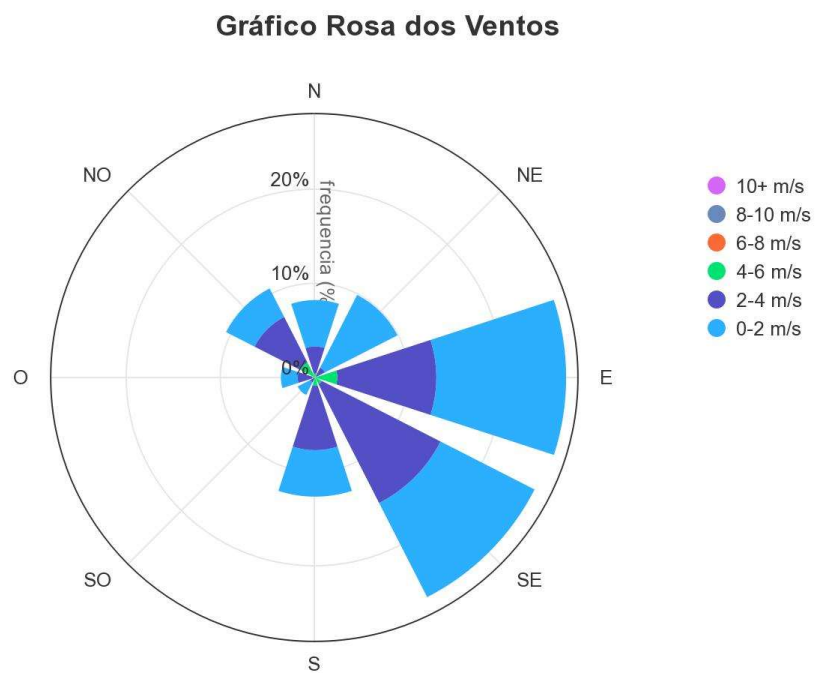
De acordo com o gráfico (Figura 44) a umidade de São Paulo - SP apresentou-se em todos os meses acima de 70% (ano de 2016), sendo o menor índice em agosto com 71,81 %.

Figura 44 – Gráfico de umidade relativa cidade de São Paulo - SP (2016)



Fonte: Projeteec (2023).

Figura 45 – Gráfico rosa dos ventos cidade de São Paulo - SP (2016)



Fonte: Projeteec (2023).

Observa-se que a maior predominância de ventos desta zona (Figura 46) é proveniente da direção leste e sudeste, sendo que os ambientes em estudo concentram maior parte de suas aberturas na fachada leste.

A Zona Bioclimática 3 possui temperaturas mais frias que ocasionam 63% de desconforto durante o ano, apenas 22% do ano esta zona consegue se manter com conforto térmico (Figura 46).

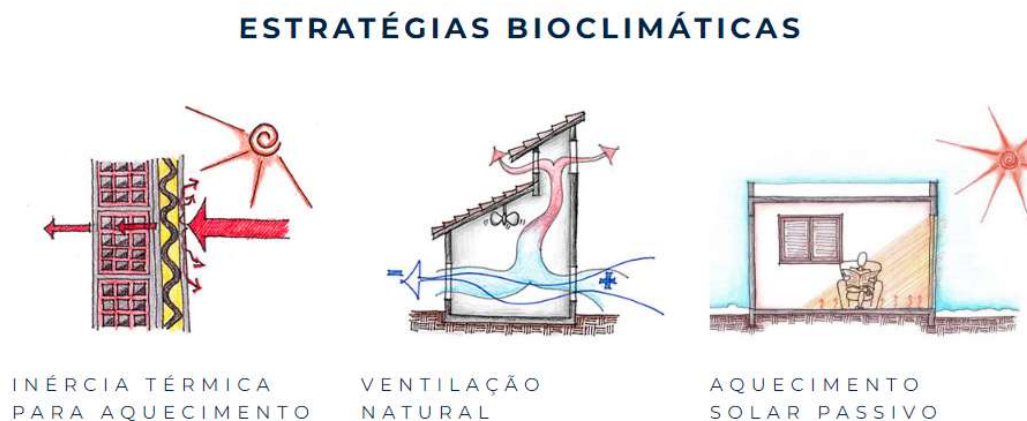
Figura 46 – Condições de conforto Zona Bioclimática 3



Fonte: Projeteec (2024).

As estratégias sugeridas para as edificações desta zona (Figura 47) é a utilização de inércia térmica para aquecimento, ventilação natural e aquecimento solar passivo.

Figura 47– Estratégias Bioclimáticas Zona Bioclimática 3 (2024)



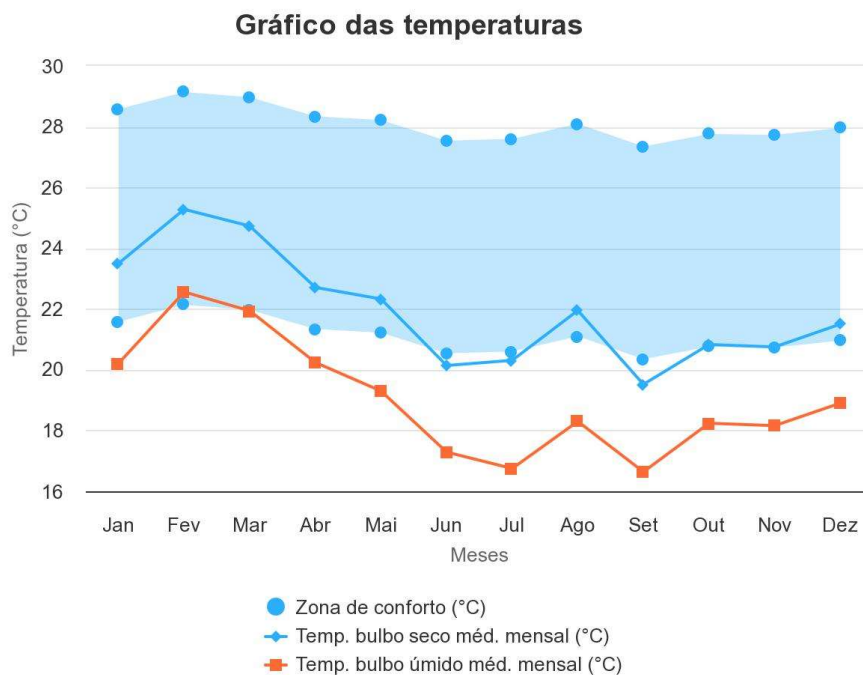
Fonte: Projeteec (2024).

3.3.5 Zona Bioclimática 5

A cidade para representar a zona bioclimática 5 adotada foi Niterói-RJ.

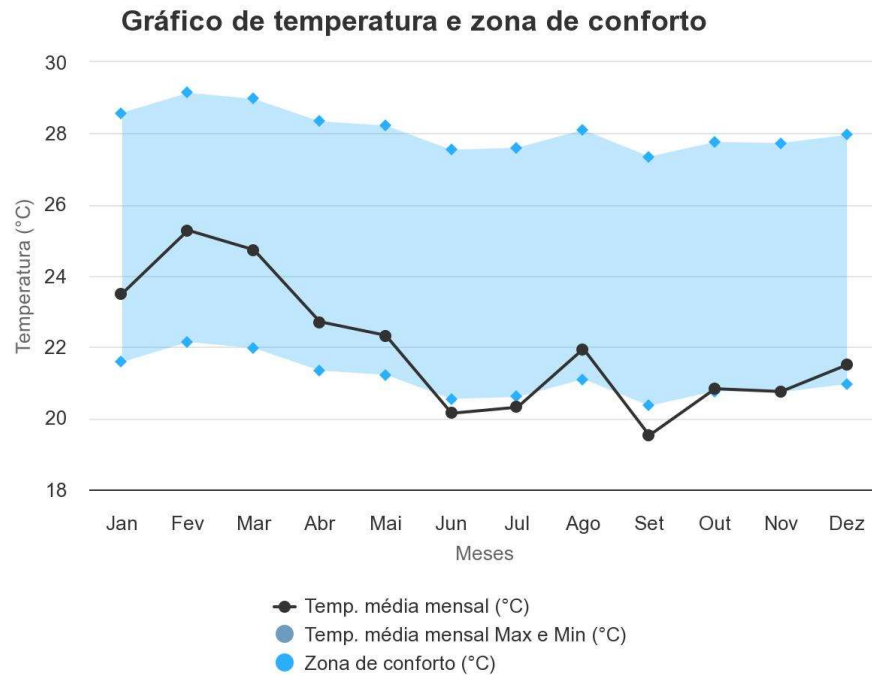
Conforme demonstrado na Figura 48 a menor temperatura de bulbo úmido ocorreu no mês de setembro apresentando 16,64 °C e a menor temperatura de bulbo seco 19,52 °C no mesmo mês. A maior temperatura de bulbo úmido foi 23,56 °C em fevereiro e maior temperatura de bulbo seco foi 25,28 °C no mesmo mês.

Figura 48 – Gráfica das temperaturas da cidade de Niterói - RJ (2016)



Conforme demonstrado no gráfico de temperatura média mensal e zona de conforto (Figura 49) a menor temperatura mensal foi em setembro com 19,52 °C, sendo a temperatura de conforto máxima de 27,35 °C e a mínima de 20,35 °C. Já a maior temperatura média mensal foi em fevereiro, alcançando 25,28 °C, com temperatura máxima de conforto 29,14 °C e temperatura mínima de 22,14 °C.

Figura 49 – Gráfico de temperatura e zona de conforto cidade de Niterói-RJ (2016)



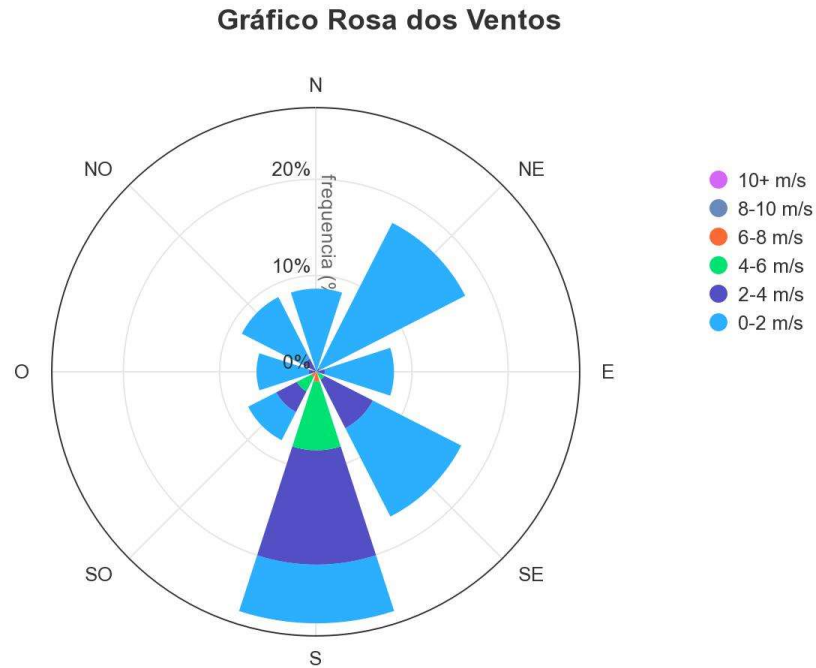
De acordo com o gráfico (Figura 50) a umidade de Niterói - RJ apresentou-se em todos os meses acima de 70% (ano de 2016), sendo o menor índice em agosto com 72,20 %.

Figura 50 – Gráfico de umidade relativa cidade de Niterói-RJ (2016)



Observa-se na Figura 51 que a maior predominância de ventos é proveniente da direção sul e sudeste, sendo que os ambientes em estudo concentram maior parte de suas aberturas na fachada leste, porém os ventos do sudeste contribuem na climatização natural das aberturas que estão voltadas para essa fachada.

Figura 51 – Gráfico rosa dos ventos cidade de Niterói-RJ (2016)



A zona bioclimática 5 possui 39% de conforto térmico durante o ano, sendo o maior desconforto proveniente pelo calor 37% ao ano (Figura 52).

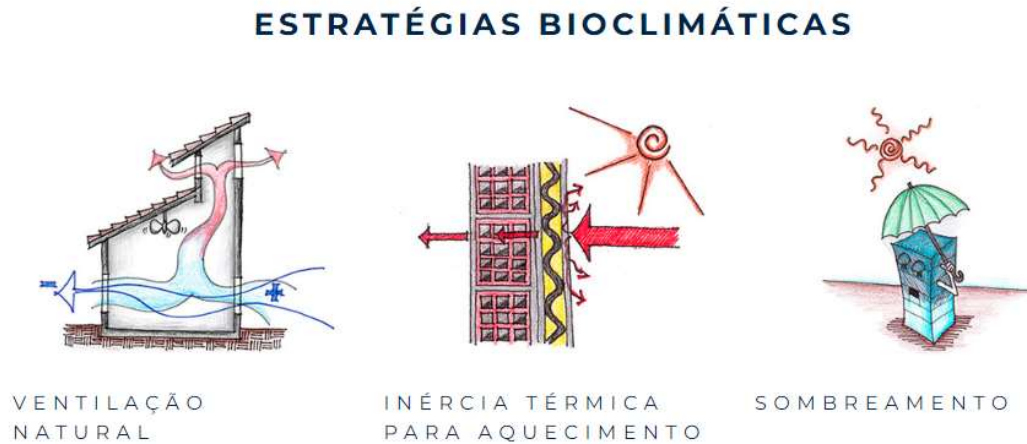
Figura 52 – Condições de conforto Zona Bioclimática 5 (2024)



Fonte: Projeteec (2024).

Para minimizar o desconforto das edificações desta região são sugeridas as estratégias bioclimáticas de ventilação natural, inércia térmica para aquecimento e sombreamento (Figura 53).

Figura 53 – Estratégias Bioclimáticas Zona Bioclimática 5



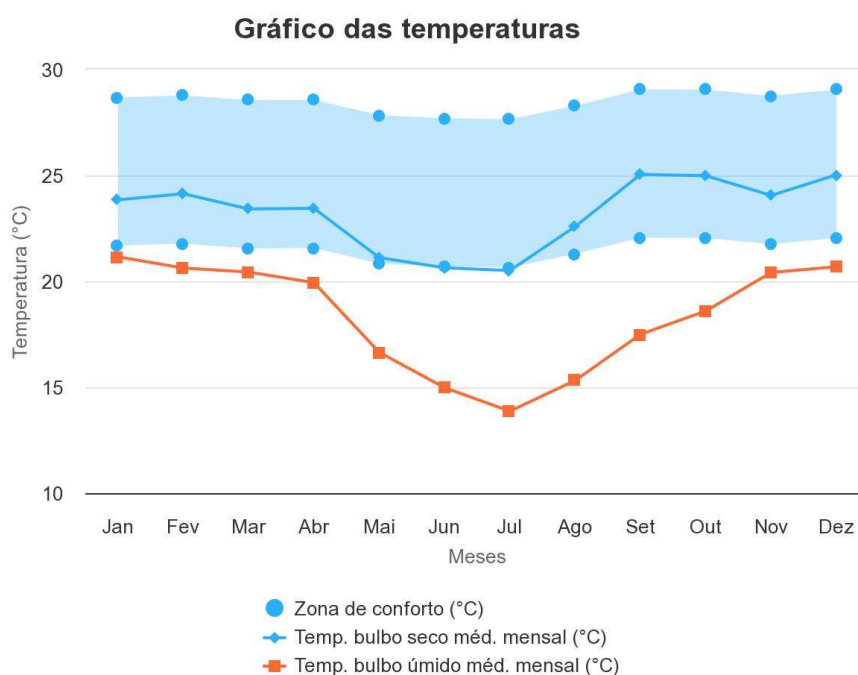
Fonte: Projeteec (2024).

3.3.6 Zona Bioclimática 6

A cidade adotada para representar esta zona bioclimática foi Goiânia - GO.

Conforme pode ser observado no gráfico de temperatura desta cidade (Figura 54) a menor temperatura de bulbo úmido ocorreu no mês de julho apresentando 13,87 °C e a menor temperatura de bulbo seco 20,51 °C no mesmo mês. A maior temperatura de bulbo úmido foi 21,16 °C em janeiro e maior temperatura de bulbo seco foi 25,05 °C no mês de setembro.

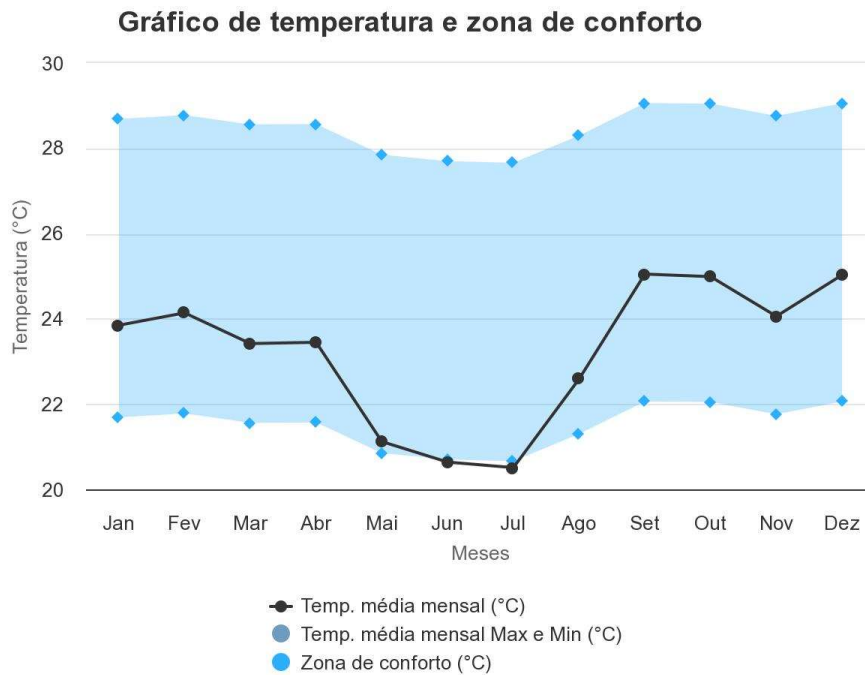
Figura 54 – Gráfico das temperaturas cidade de Goiânia-Go (2016)



Fonte: Projeteec (2023).

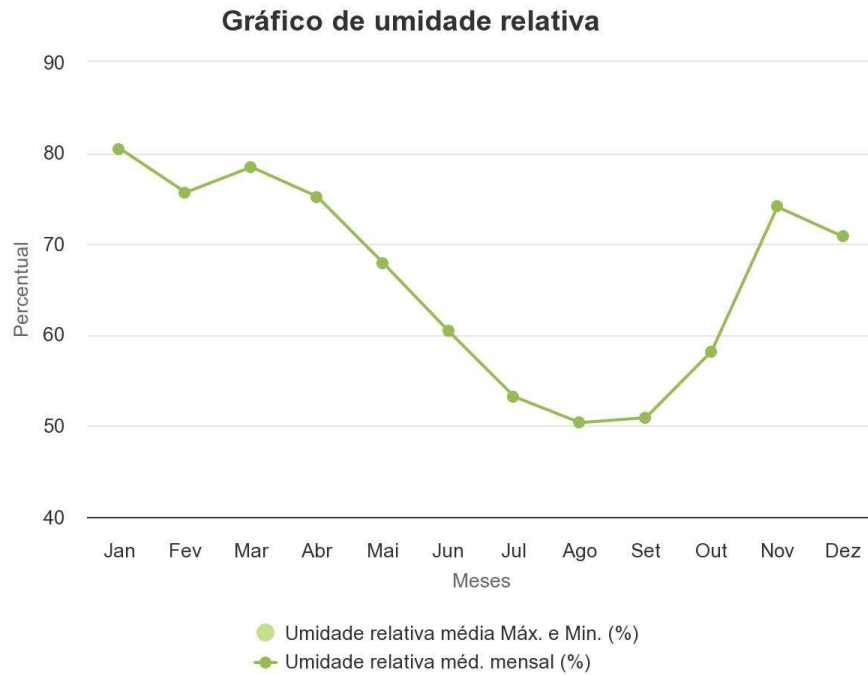
No gráfico de temperatura média mensal e zona de conforto (Figura 55) pode ser observado que a menor temperatura mensal foi em julho com 20,51 °C, sendo a sua temperatura de conforto máxima de 27,66 °C e a mínima de 20,66 °C. Já a maior temperatura média mensal foi em setembro, alcançando 25,05 °C, com temperatura máxima de conforto 29,06 °C e temperatura mínima de 22,06 °C.

Figura 55 – Gráfico temperatura e zona de conforto cidade de Goiânia-Go (2016)



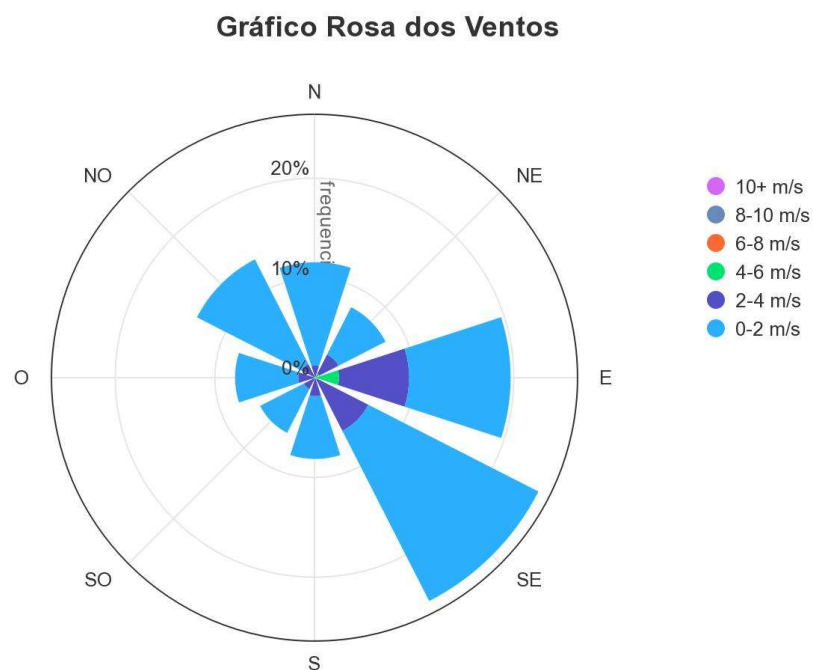
Conforme o gráfico (Figura 56) a umidade de Goiânia - GO apresentou umidade relativa variando de 50,36% no mês de agosto atingindo seu ápice em janeiro com 80,50%.

Figura 56 – Gráfico de umidade relativa cidade de Goiânia-Go (2016)



Observa-se que a maior predominância de ventos desta zona (Figura 57) é proveniente da direção leste e sudeste, enquanto que os ambientes em estudo concentram maior parte de suas aberturas na fachada leste.

Figura 57 – Gráfico rosa dos ventos cidade de Goiânia-Go (2016)



A Zona Bioclimática 6 apresenta condição de conforto térmico em 43% do ano, porém apresenta 34% de desconforto por calor e 23% de desconforto por frio (Figura 58).

Figura 58 – Condições de conforto Zona Bioclimática 6 (2024)



Fonte: Projeteec (2024).

Para minimizar as sensações de desconforto nas edificações desta zona as estratégias bioclimáticas recomendadas são a utilização de ventilação natural, inércia térmica para aquecimento (nas estações frias) e sombreamento (Figura 59).

Figura 59 – Estratégias Bioclimáticas Zona Bioclimática 6



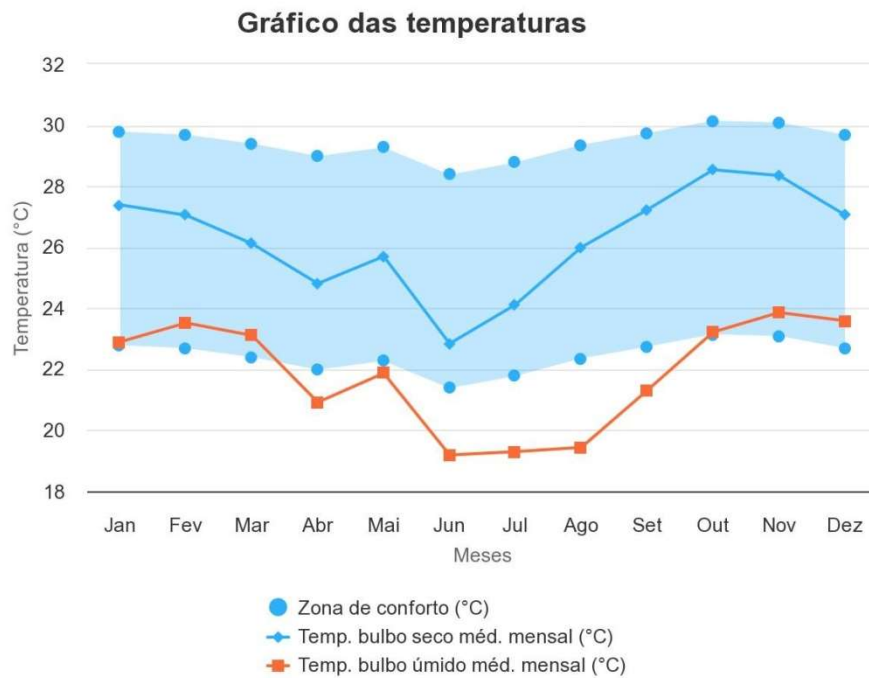
Fonte: Projeteec (2024).

3.3.7 Zona Bioclimática 7

A cidade de Cuiabá-MT foi escolhida para representar a zona bioclimática 7.

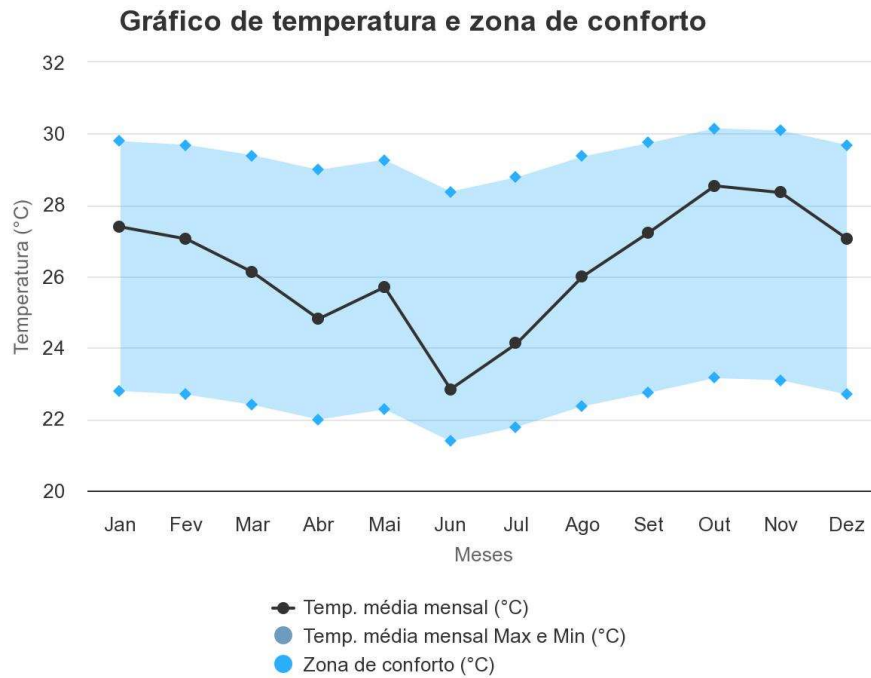
No gráfico de temperaturas desta cidade (Figura 60) está demonstrado que a menor temperatura de bulbo úmido ocorreu no mês de junho apresentando 19,19 °C e a menor temperatura de bulbo seco 22,84 °C no mesmo mês. A maior temperatura de bulbo úmido foi 23,86 °C em novembro e maior temperatura de bulbo seco foi 28,54 °C no mês de outubro.

Figura 60 – Gráfico das temperaturas cidade de Cuiabá - MT (2016)



Na Figura 61 pode ser observado que a menor temperatura mensal foi em junho com 22,84 °C, sendo a sua temperatura de conforto máxima de 28,38 °C e a mínima de 21,38 °C. Já a maior temperatura média mensal foi em outubro, alcançando 28,54 °C, com temperatura máxima de conforto 30,15 °C e temperatura mínima de 23,15 °C.

Figura 61 – Gráfico temperatura e zona de conforto cidade de Cuiabá-MT (2016)



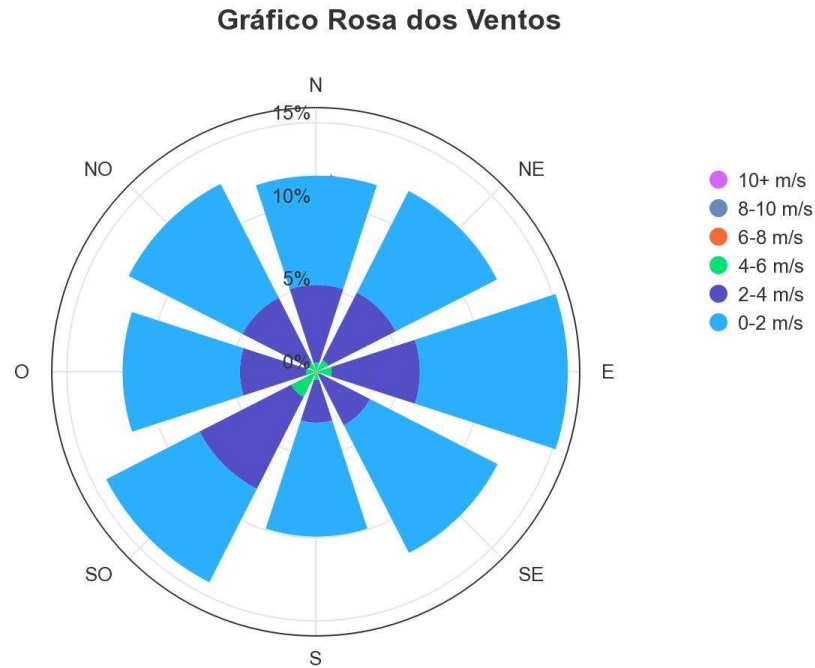
Conforme demonstrado na Figura 62 a umidade de Cuiabá-MT apresentou umidade relativa variando de 58,60% no mês de agosto atingindo seu ápice em março com 79,02%.

Figura 62 – Gráfico de umidade relativa cidade de Cuiabá-MT (2016)



Conforme pode ser observado na Figura 63 a região apresenta correntes de vento em todas as direções com maiores velocidades na direção sudoeste e leste.

Figura 63 – Gráfico rosa dos ventos cidade de Cuiabá-MT (2016)



Fonte: Projeteec (2023).

Nesta Zona Bioclimática, devido as altas temperaturas, há um grande desconforto por calor, com 64% do ano nessa condição (Figura 64).

Figura 64 – Condições de conforto Zona Bioclimática 7



Fonte: Projeteec (2024).

As estratégias bioclimáticas sugeridas (Figura 65) para minimizar essa condição dentro das edificações é o uso de ventilação natural, sombreamento e inércia térmica para resfriamento.

Figura 65 – Estratégias Bioclimáticas Zona Bioclimática 7 (2024)

ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS

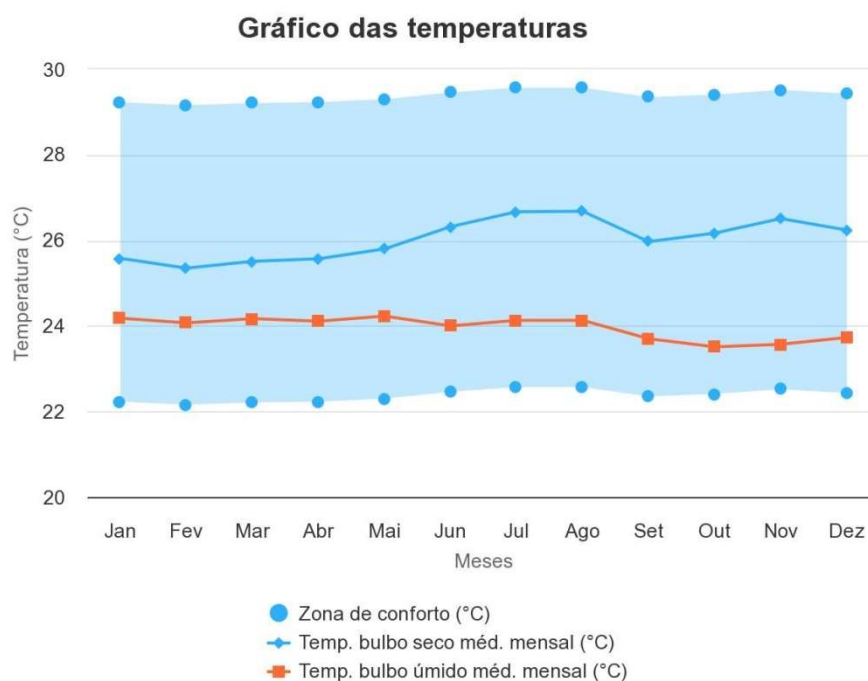


Fonte: Projeteec (2024).

3.3.8 Zona Bioclimática 8

Para a análise desta zona bioclimática foi escolhida a cidade Belém - PA. No gráfico de temperaturas desta cidade (Figura 66) pode ser observado que a menor temperatura de bulbo úmido ocorreu no mês de outubro apresentando 23,51 °C e a menor temperatura de bulbo seco 25,35 °C no mês de fevereiro. A maior temperatura de bulbo úmido foi 24,23 °C em maio e maior temperatura de bulbo seco foi 26,68 °C no mês de agosto.

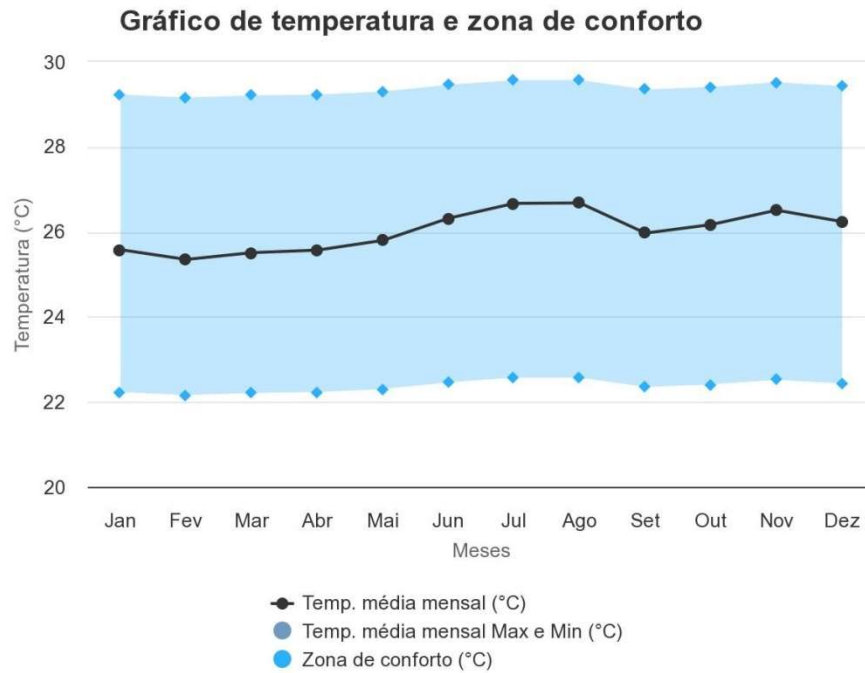
Figura 66 – Gráfico das temperaturas cidade de Belém-PA (2016)



Fonte: Projeteec (2023).

Na Figura 67 pode ser observado que a menor temperatura mensal foi em fevereiro com 25,35 °C, sendo a sua temperatura de conforto máxima de 29,16 °C e a mínima de 22,16 °C. Já a maior temperatura média mensal foi em agosto, alcançando 26,68 °C, com temperatura máxima de conforto 29,57 °C e temperatura mínima de 22,57 °C.

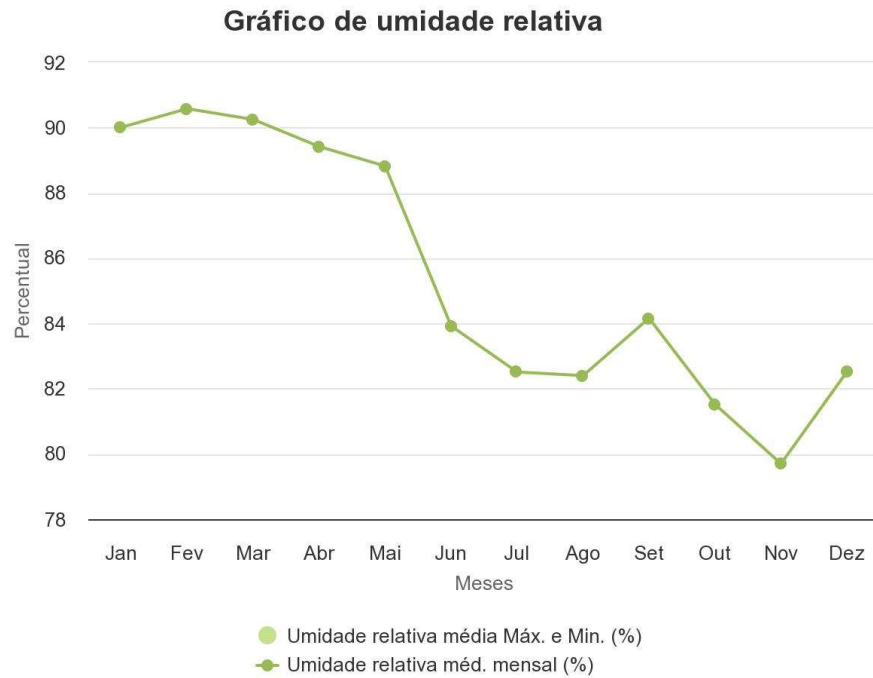
Figura 67 – Gráfico de temperatura e zona de conforto cidade de Belém-PA (2016)



Fonte: Projetece (2023).

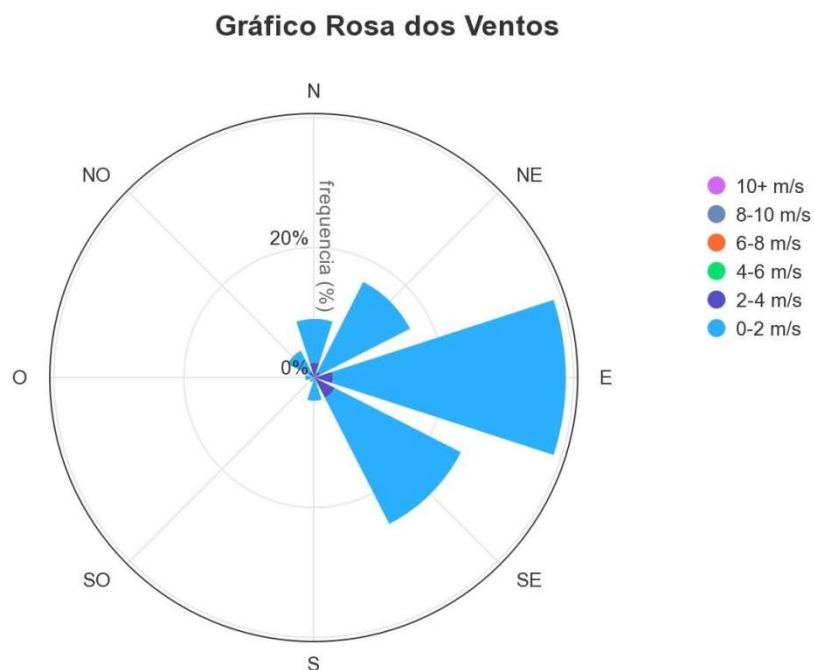
Conforme o gráfico (Figura 68) a umidade de Belém - PA apresentou umidade relativa acima de 78% em todos os meses, com menor valor no mês novembro com 79,7 %.

Figura 68 – Gráfico de umidade relativa cidade de Belém-PA (2016)



Observa-se que a maior predominância de ventos (Figura 69) é proveniente da direção leste e sudeste, os ambientes em estudo concentram maior parte de suas aberturas na fachada leste.

Figura 69 – Gráfico rosa dos ventos cidade de Belém-PA (2016)



A Zona Bioclimática 8 é uma das zonas com maior temperatura, passando 97% do ano em condição de desconforto térmico por calor (Figura 70).

Figura 70 – Condições de conforto Zona Bioclimática 8 (2024)



Fonte: Projeteec (2024).

Na Figura 71 estão apresentadas as estratégias bioclimáticas sugeridas como alternativa para minimizar os efeitos do calor intenso e, nesse caso, são a ventilação natural, sombreamento e inércia térmica para resfriamento.

Figura 71 – Estratégias Bioclimáticas Zona Bioclimática 8 (2024)



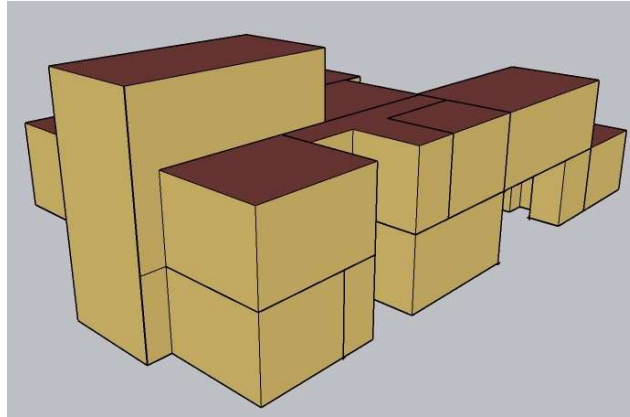
Fonte: Projeteec (2024).

3.4 MODELAGEM E SIMULAÇÃO OPEN STUDIO

Para a modelagem e simulação do estudo de caso foi utilizado o *software* sketchup com o *plugin* OpenStudio. Após iniciar um novo arquivo IDF foram criadas as zonas térmicas de cada ambiente com as ferramentas do Sketchup. O OpenStudio possui um esquema de cores para identificar pisos, paredes e tetos facilmente. Cores escuras identificam o exterior de uma superfície, enquanto cores mais claras identificam o interior.

Na Figura 72 está apresentado um modelo produzido no Sketchup e trabalhado no OpenStudio.

Figura 72 - Modelagem Zonas Térmicas



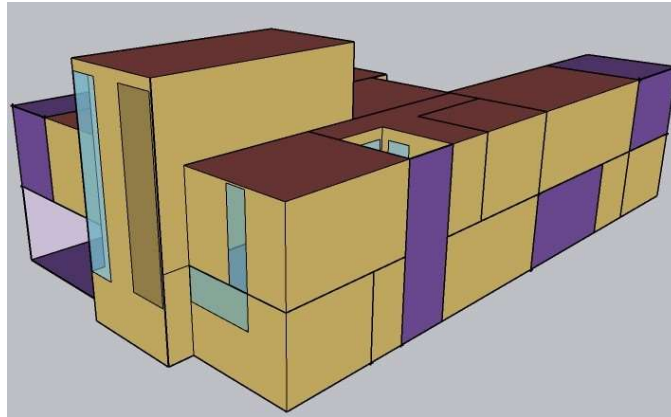
Fonte: Autora (2023).

Após a modelagem das paredes, pisos e teto foi adicionado as subsuperfícies, que como o nome sugere são superfícies dentro de outras superfícies base. Isto inclui portas, janelas e claraboias. As subsuperfícies também possuem seu próprio esquema de cores, as portas são marrons, e as janelas ou portas de vidro um azul translúcido.

O grupo de sombreamento foi adicionado após as aberturas, este possui uma cor característica roxa, este grupo é utilizado para desenhar elementos como brises, marquises, árvores, edificações vizinhas, ou qualquer elemento que interfira na incidência de radiação solar na edificação.

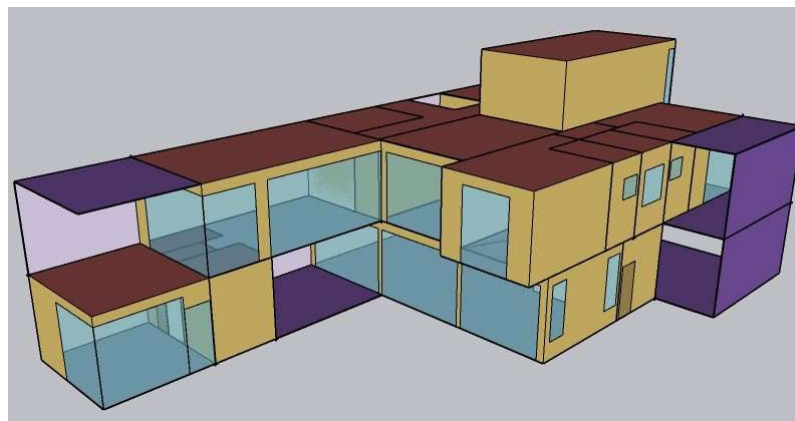
Nas Figuras 73 e 74 estão apresentados os resultados da modelagem das subsuperfícies e grupo de sombreamento.

Figura 73 - Modelagem Subsuperfície e Grupo de Sombreamento



Fonte: Autora (2023).

Figura 73 - Modelagem Subsuperfície e Grupo de Sombreamento



Fonte: Autora (2023).

Ao finalizar a modelagem no OpenStudio foi feita a combinação de superfícies correspondentes, as superfícies coplanares precisam ser combinadas para que sejam feitos os cálculos de troca de calor entre elas.

Com a modelagem pronta e as superfícies combinadas foi feito preenchimento dos materiais com suas devidas propriedades térmicas e, também, a definição da localização (cidade) onde a edificação está inserida. O estudo independente de ter alterado a localização geográfica, manteve a posição de implantação da edificação.

Para cada ambiente analisado, foi definido no software o tipo de atividade física executada com suas respectivas taxas de metabolismo segundo a ISO 7730.

Como o estudo é feito nas 8 zonas bioclimática brasileiras, foi feita a simulação em 8 localidades diferentes. Para cada zona bioclimática foi comparado um modelo real (vedações

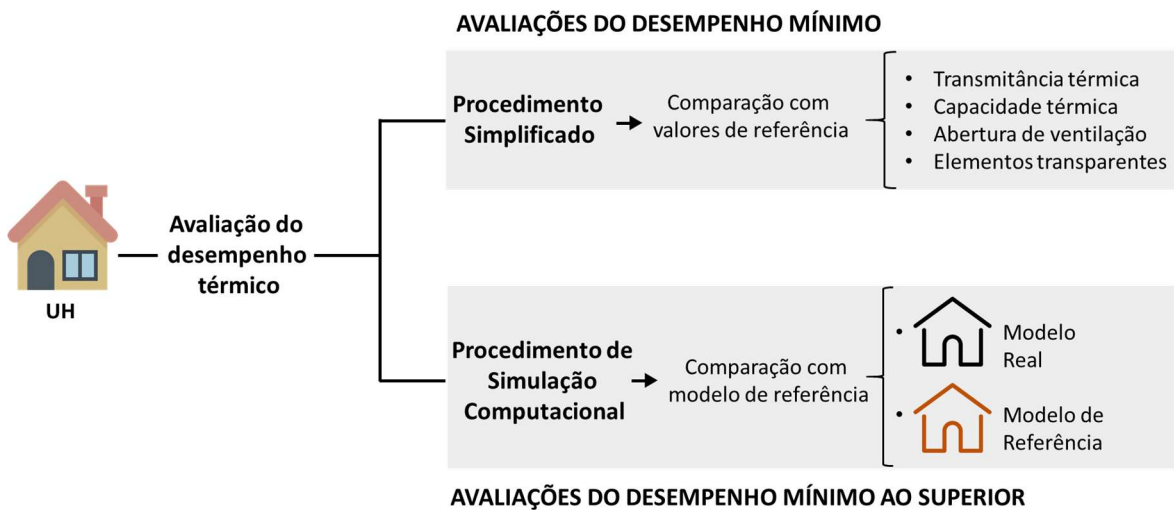
com taipa de pilão) com um modelo de referência (alvenaria de bloco cerâmico), todos os estudos baseados nas normas NBR 15575/2021 e NBR 15520/2022.

Segundo o método proposto, pela NBR 15575/2021 a avaliação do desempenho térmico pode ser realizada por meio de dois procedimentos, simplificado (Parte 4 – Requisitos para os sistemas de vedações internas e externas - SVVIE e Parte 5 – Requisitos para os sistemas de coberturas) ou de simulação computacional (Parte 1 – Requisitos Gerais), conforme ilustra a figura 74.

O método escolhido para o estudo foi o computacional. O procedimento de simulação computacional representa a maneira mais abrangente e representativa de análise do desempenho térmico disponível no método proposto para a NBR 15575, permitindo avaliações para a obtenção de todos os níveis de desempenho (mínimo, intermediário e superior).

Na Figura 74 está apresentado o modelo de análise proposto pela NBR 15575.

Figura 74 – Análise de Desempenho Térmico

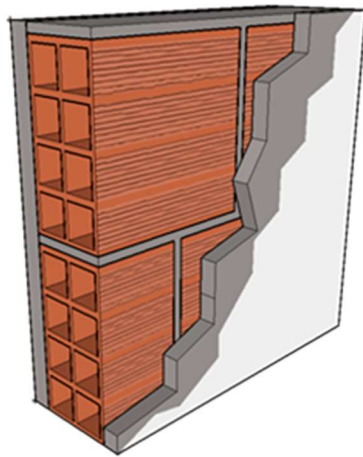


Fonte: Labeee (2023).

O modelo real implementa soluções construtivas adotadas no projeto construído (estudo de caso). O modelo referência utiliza da mesma volumetria da edificação real, porém com algumas características padronizadas, que determinam o desempenho de referência, esse modelo utiliza a alvenaria apresentada na Figura 75, convencionalmente utilizado no Brasil.

Com os dados preenchidos deu-se prosseguimento as simulações.

Figura 75 – Bloco cerâmico de 8 furos



Paredes

Argamassa interna 2.5 cm

Bloco cerâmico 12x19x19 cm

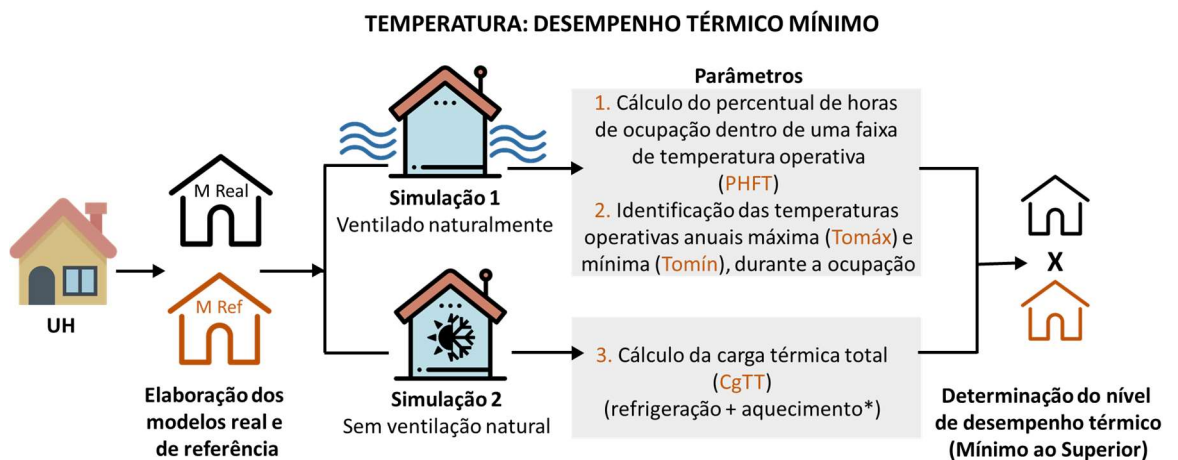
Argamassa externa 2.5 cm

Fonte: Projeteec (2023).

3.5 PARÂMETROS DE ANÁLISE DE DESEMPENHO TÉRMICO

A análise dos parâmetros que influenciam no desempenho térmico, e que foram considerados nas simulações, baseou-se na norma NBR 15575:2021, e está apresentado na Figura 76.

Figura 76 – Análise de Desempenho Térmico



CARGA TÉRMICA: DESEMPENHO TÉRMICO INTERMEDIÁRIO E SUPERIOR

Fonte: Labeece (2023).

Através do Open Studio, após as simulações, é possível obter os parâmetros acima listados, porém faz-se necessário a compreensão desses dados tanto para saber se realmente os elementos fornecidos pelo software estão corretos, quanto para elaborar uma melhor proposta de desempenho térmico caso a edificação precise.

A Temperatura Operativa, de acordo com a NBR 15.575 é o valor médio entre a temperatura do ar e a temperatura radiante média do ambiente.

A Temperatura do ar, também conhecida como temperatura de bulbo seco, é aquela medida nos termômetros comuns. Já a temperatura radiante média é definida pela temperatura uniforme de um ambiente imaginário, no qual a transferência de calor por radiação do corpo humano é igual à transferência de calor por radiação em um ambiente real não uniforme. A temperatura radiante pode ser medida com um termômetro de globo.

A temperatura operativa por levar em consideração a transferência de calor por radiação entre o corpo do ocupante e o ambiente no qual ele está inserido, é utilizada para determinar a aceitabilidade das condições internas do ambiente.

A radiação a que está sujeita uma pessoa no interior de um ambiente depende das dimensões do ambiente, suas características térmicas e a localização da pessoa no ambiente.

A temperatura operativa pode ser obtida por meio da Equação (1).

$$T_o = A \cdot T_a + (1 - A) \cdot T_r \quad (1)$$

Onde:

T_o é a temperatura operativa (°C)

T_a é a temperatura do ar (°C)

T_r é a temperatura média radiante (°C)

A=0,5 para V_a (velocidade do ar) menor que 0,2 m/s;

A=0,6 para V_a entre 0,2 e 0,6 m/s

A=0,7 para V_a entre 0,6 e 1,0 m/s

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.

O uso da temperatura operativa como métrica está em linha com normas internacionais tais como a norte-americana ASHRAE 55-2010 que utilizam o modelo de conforto adaptativo. Este modelo, destinado ao uso em edifícios com ventilação natural, determina a aceitabilidade

das condições internas, em função da temperatura média mensal do ar externo e a temperatura operativa interna. Isso é usado como um índice para a adaptação do ocupante às condições externas, e determina a aceitabilidade das condições internas.

Se a análise de desempenho for realizada considerando a temperatura do ar ao invés da temperatura operativa, os resultados poderão ser superestimados para o indicador de percentual de horas dentro da faixa de temperatura operativa, e subestimados para as temperaturas anuais máxima e mínima. Pois, na prática a temperatura radiante tende a ser menor do que a temperatura do ar no inverno, e maior do que a temperatura do ar no verão.

Além da temperatura operativa, a compreensão da carga térmica também fez necessária. A carga térmica é o balanço energético da zona térmica. Neste balanço leva-se em consideração a transferência de calor através das paredes, pavimentos, renovação do ar devido à ventilação e fontes de calor internas como iluminação e ocupantes. A carga térmica pode ser entendida como a quantidade excessiva de calor ou frio que os ambientes de uma edificação podem estar submetidos ao longo do ano.

A redução desta carga térmica pode ser feita de forma passiva (sem uso de energia elétrica), como ao adotar o uso de estratégias de ventilação natural ou de forma ativa, através de condicionamento de ar ou sistema de climatização.

3.5.1 Cálculo do percentual de horas de ocupação dentro de uma faixa de temperatura operativa (PHFT)

É a razão entre as horas ocupadas dentro de uma faixa de temperatura operativa estabelecida e o total de horas ocupadas do ambiente, conforme a Tabela 11. O PHFT é calculado para cada ambiente de permanência prolongada (APP), e o PHFT da unidade habitacional (UH) é obtido a partir da média aritmética entre os valores de todos os APPs.

Tabela 11 – Faixa de Temperatura para o cálculo de PHFT

Intervalo	Temperatura de bulbo Seco média	Faixa de temperatura Operativa
1	$TBSm < 25^{\circ}C$	$18^{\circ}C < \text{temperatura operativa do APP} < 26^{\circ}C$
2	$25^{\circ}C \leq TBSm < 27^{\circ}C$	$\text{temperatura operativa do APP} < 28^{\circ}C$
3	$TBS \geq 27^{\circ}C$	$\text{temperatura operativa do APP} < 30^{\circ}C$

Fonte: NBR 15575:2021, adaptado pela autora.

3.5.2 Identificação das temperaturas operativas anuais máxima e mínima, durante a ocupação.

A Tomáx e a Tomín são obtidas a partir das temperaturas operativas horárias de cada APP, durante a respectiva ocupação. Os extremos de temperatura da UH são obtidos considerando o valor mais alto e o mais baixo dentre todos os APPs. Devido ao clima quente predominante no Brasil, deve-se observar a Tomáx em todas as Zonas Bioclimáticas brasileiras (ZBs). A Tomín deve ser observada somente em locais com períodos frios significativos, relativos às ZBs 1 a 3.

3.5.3 Cálculo de Carga Térmica Total (refrigeração + aquecimento)

É a quantidade total de calor, fornecida ou retirada do ar, para manter as condições desejadas em um ambiente.

Carga térmica de refrigeração (CgTR) - quantidade de calor a ser retirada do ar para manter as condições desejadas em um ambiente.

Carga térmica de aquecimento (CgTA) - quantidade de calor a ser fornecida ao ar para manter as condições desejadas em um ambiente (NBR 15575, 2021).

3.5.4 Níveis de Desempenho Térmico

Com os cálculos definidos, eles foram classificados, considerando três níveis de desempenho: Mínimo (M), Intermediário (I) e superior (S). Segundo a NBR 15575:2021 é de caráter obrigatório o atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos para o desempenho Mínimo. O atendimento aos níveis de desempenho Intermediário e Superior é facultativo.

Mínimo - Avalia o PHFT e a temperatura operativa anual máxima (TomáxUH) da UH do modelo real em relação ao modelo de referência. Para edificações localizadas nas zonas bioclimáticas 1, 2, 3 ou 4, também deve ser avaliada a temperatura operativa anual mínima (TomínUH);

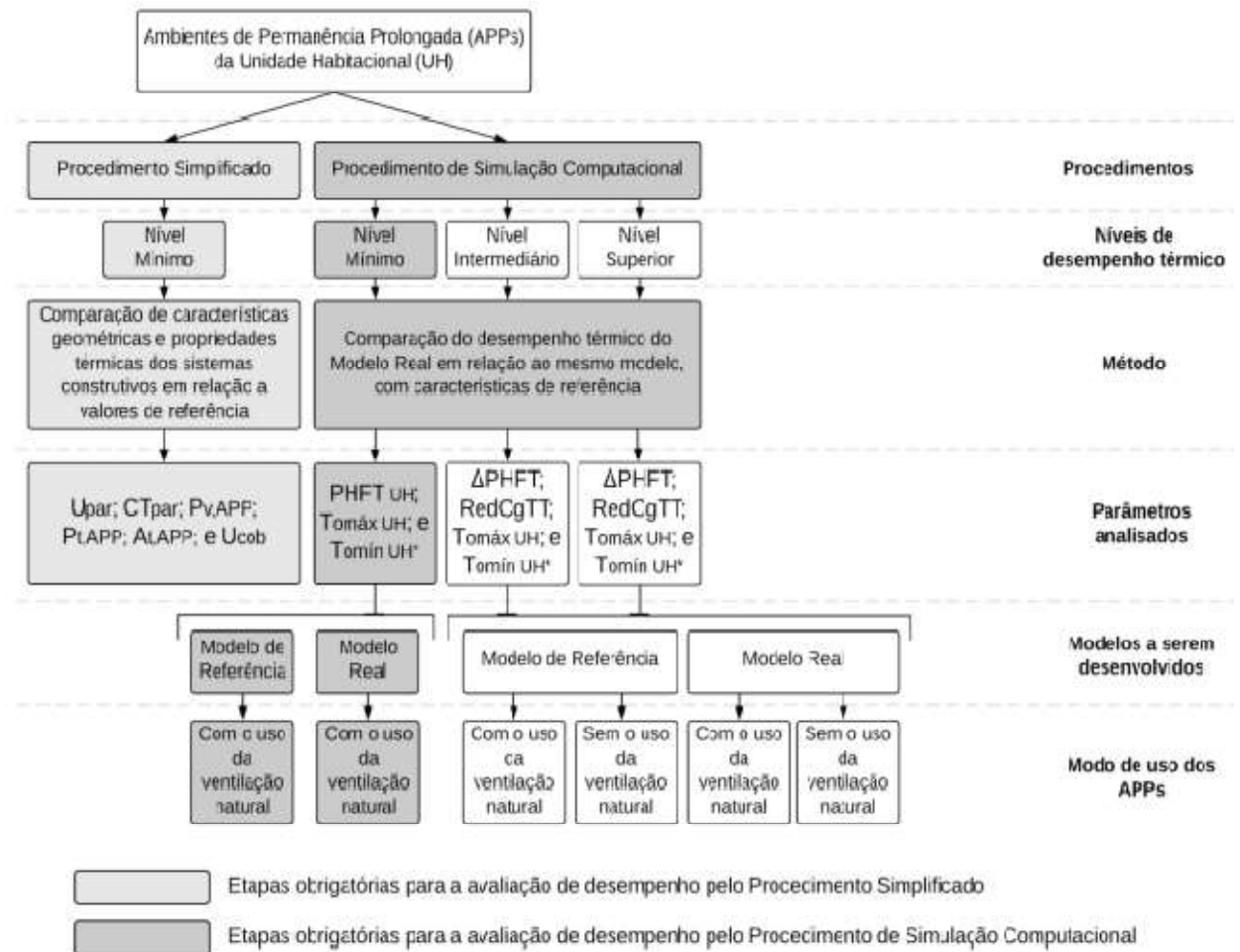
Intermediário - Avalia o modelo real no atendimento dos critérios do nível mínimo, assim como quanto ao incremento do PHFT e à redução da carga térmica total (CgTTUH) do modelo real em relação ao modelo de referência;

Superior - Avalia o modelo real no atendimento dos critérios do nível mínimo, assim

como quanto ao incremento do PHFT e à redução da carga térmica total (CgTT) do modelo real em relação ao modelo de referência. Em comparação com o nível intermediário, o atendimento ao nível superior diferencia-se na obtenção de reduções mais elevadas da carga térmica total (CgTT).

Na Figura 77 está apresentado o Procedimentos de Avaliação de Desempenho Térmico.

Figura 77 – Procedimentos de Avaliação de Desempenho Térmico



*Necessário apenas para as zonas bioclimáticas 1, 2, 3 e 4

Fonte: NBR 15575(2021).

3.5.5 Procedimento de Análise

Para a análise dos resultados foi considerada a edificação estudada implantada nas oito zonas bioclimáticas brasileiras, nas seguintes cidades, conforme descrito na Tabela 12.

TABELA 12- Zonas Bioclimáticas com suas respectivas cidades escolhidas para o estudo

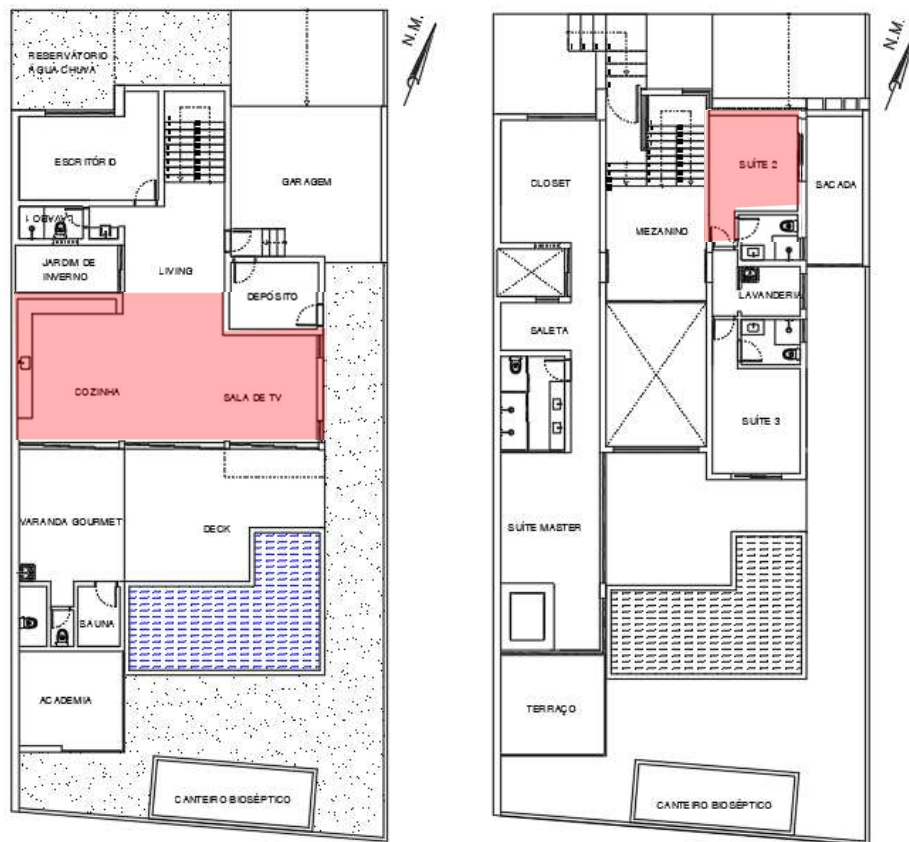
ZBB	Cidade	Estado	Intervalo de TO
1	Curitiba	PR	1
2	Santa Maria	RS	1
3	São Paulo	SP	1
4	Pires do Rio	GO	1
5	Niterói	RJ	1
6	Goiânia	GO	1
7	Cuiabá	MT	2
8	Belém	PA	3

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

Fonte: INMET adaptado pela autora (2023).

Segundo a norma NBR 15775/2021 para cada zona bioclimática houve o estudo de dois tipos de envoltória, uma com paredes em taipa de pilão com solo tipo solo cimento (real) e outra com paredes em alvenaria de bloco cerâmico (referência), implementados com o mesmo leiaute e volumetria da edificação real. Para a simplificação das simulações térmicas e análises posteriores foram escolhidos dois ambientes de longa permanência: sala de tv/cozinha (ambientes mais utilizados pelos moradores, porém, além da taipa possui grandes fechamentos em vidro) e suíte 2 (localizado na fachada norte, mas com menor influência de fechamentos em vidro). O posicionamento dos ambientes em estudo pode ser visto na Figura 78.

Figura 78 - Planta térrea e pavimento superior (consecutivamente)



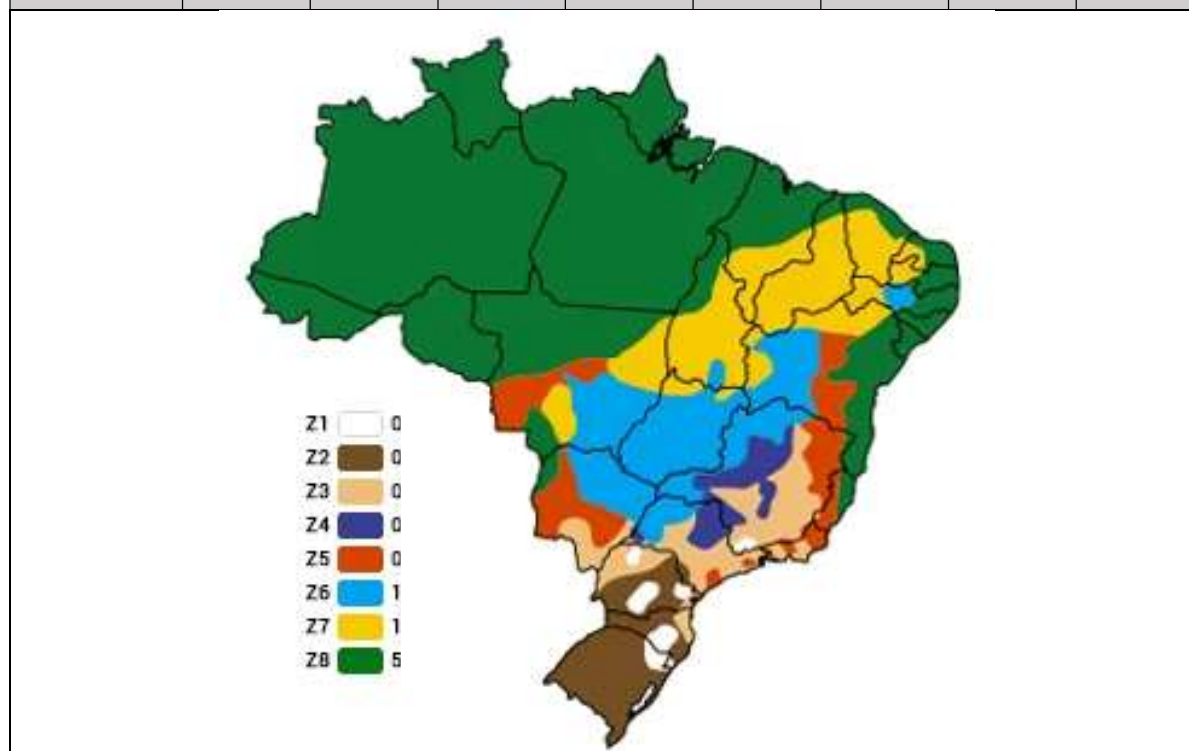
Fonte: Imagem feita pela autora (adaptado do Projeto de Fernando Alves da Silva) (2023).

CAPÍTULO 4: RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 13, 14, 15 e 16 estão apresentados os dados de saída do Open Studio para as 8 zonas bioclimáticas brasileiras.

Tabela 13: Dados de saída Open Studio referente as oito zonas bioclimáticas brasileiras

	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6	Zona 7	Zona 8
PHFTreal (%)	64,22	70,23	78,70	99,25	98,58	97,21	100	100
PHFT ref. (%)	65,23	70,63	78,94	98,96	97,91	96,99	100	100
Tomáx real (°C)	24,49	25,86	24,70	25,08	25,39	25,95	26,39	25,74
Tomáx ref. (°C)	25,26	26,66	25,39	25,87	26,24	26,69	26,93	26,57
Tomín real (°C)	13,09	11,75	14,06	15,33	16,28	15,79	15,42	21,30
Tomín ref. (°C)	12,61	11,19	13,48	14,90	16,02	15,53	16,60	21,60



Fonte: Autora, baseado nos dados de saída do Open Studio e mapa Weiku.com (2024).

Tabela 14: Dados de saída Open Studio referente as oito zonas bioclimáticas brasileiras

	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6	Zona 7	Zona 8
CgTR real (kw.h)	1.413,29	2.825,19	1.980,40	4.742,16	4.084,12	4.928,86	8.121,76	8.973,91
CgTR ref. (kw.h)	1.551,62	3.284,98	2.235,94	5.514,57	4.693,01	5.731,23	9.635,54	10.379,86
CgTA real (kw.h)	6.085,46	5.449,58	3.984,10	937,30	1.511,61	1.108,47	290,31	0,52
CgTA ref. (kw.h)	6.750,32	6.012,06	4.376,78	1.012,32	1.705,81	1.215,56	329,43	1,06

Fonte: Autora, baseado nos dados de saída do Open Studio (2024)

A partir da análise da edificação real (taipa de pilão solo-cimento) em relação a edificação referência (alvenaria) observou-se que a primeira possui uma maior inércia térmica, proporcionando uma diminuição das amplitudes térmicas internas e um atraso térmico no fluxo de calor devido a sua capacidade de armazenar calor. Assim, o pico de temperatura interna apresenta uma defasagem e um amortecimento em relação a temperatura externa.

Quanto ao desempenho térmico, esse pôde ser verificado em todas as zonas, através da análise de carga térmicas. A edificação real apresentou melhores índices, com cargas térmicas menores e, conseqüentemente, melhor custo diante dos gastos energéticos. As zonas bioclimáticas mais quentes (7 e 8) obtiveram um maior gasto energético devido as altas temperaturas e, conseqüente, utilização de ar-condicionado. Essas zonas também foram as que mais tiveram diferença de carga térmica entre a edificação real e edificação referência.

Com relação aos índices de PHFT que determina a capacidade da edificação em manter a temperatura operativa dentro dos níveis estipulados pela norma, a taipa de pilão se mostrou mais eficiente também diante das temperaturas mais quentes, conseguindo atingir o percentual de 100% nas zonas 7 e 8 e pior índice nas zonas 1 e 2 que são as mais frias. Ainda que os resultados do PHFT não tenham sido tão satisfatórios para as zonas mais frias, podemos notar que a taipa de pilão conseguiu atingir temperaturas maiores que a alvenaria diante das temperaturas mínimas, sendo um benefício para essas zonas que muitas vezes necessitam de aquecimento por tempo prolongado durante as estações mais frias.

Tabela 15: Critérios de análise NBR 15575:2021 referente a unidade habitacional real e referência

NÍVEL MÍNIMO (critério)	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6	Zona 7	Zona 8
$(PHFT_{UH,REAL} > 0,9 * PHFT_{UH,REF})$	64,22% >58,7% Atende	70,23% >63,5% Atende	78,70% >71,0% Atende	99,25% >89,0% Atende	98,58% >88,1% Atende	97,21% >87,2% Atende	100% > 90% Atende	100% > 90% Atende

Fonte: Autora, baseado nos dados de saída do Open Studio (2024)

De acordo com a NBR 15575:2021 para o atendimento ao critério de $PHFT_{UH}$ no nível mínimo (M), o modelo real de simulação computacional deve apresentar, ao longo de um ano e durante os períodos de ocupação dos APP, $PHFT_{UH, REAL} > 90\%$ do obtido para o modelo referência ($PHFT_{UH, REF}$). O estudo de caso utilizando a taipa de pilão (solo-cimento), conseguiu atingir os níveis mínimos da norma 15575:2021 em todas as zonas bioclimáticas, o que se torna expressivo já que a norma especifica que “o atendimento aos critérios estabelecidos para os níveis de desempenho térmicos intermediário e superior é de caráter não obrigatório”.

O atendimento do desempenho mínimo demonstra que a edificação em taipa de pilão conseguiu manter por mais tempo uma temperatura estável dentro da faixa de temperatura definida para esta zona, que é de 18°C a 26°C, ou seja, o ambiente de taipa de pilão gera uma melhor aceitabilidade do usuário a ele. Isso implica em uma melhor qualidade de vida para o usuário, que sofrerá menos influência das diferenças de temperaturas, e até mesmo a menor utilização de equipamento elétricos para melhorar a temperatura interna (ar-condicionado ou aquecedor).

Tabela 16: Critérios de análise NBR 15575:2021 referente a unidade habitacional real e referência

NÍVEL INTERMEDIÁRIO (critérios)	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6	Zona 7	Zona 8
$\Delta PHFT \geq \Delta PHFT_{min}^a$	-1,01% $\geq 6\%$ Não atende	- 0,4% \geq 0% Não atende	-0,24% $\geq 0\%$ Não atende	0,29% \geq 0% Atende	0,67% \geq 0% Atende	0,22% \geq 0% Atende	0% \geq 0% Atende	0% \geq 0% Atende
$Tomáx_{UH, real} \leq Tomáx_{UH, ref} + \Delta Tomáx$	24,49°C $\leq 27,26°C$ Atende	25,86°C $\leq 28,66°C$ Atende	24,70°C $\leq 27,39°C$ Atende	25,08°C $\leq 27,87°C$ Atende	24,70°C $\leq 28,24°C$ Atende	24,70°C $\leq 28,69°C$ Atende	26,39°C $\leq 28,93°C$ Atende	25,74°C $\leq 28,57°C$ Atende

Tomín_{UH real} ≥ Tomín_{UH ref} - ΔTomín	15,33 °C ≥ 11,61°C Atende	11,75 °C ≥ 10,19°C Atende	14,06 °C ≥ 12,48°C Atende	15,33°C ≥13,90° C Atende	14,06 °C ≥ 15,02°C Atende	15,79 °C ≥ 14,53°C Atende	15,42 °C ≥ 15,60°C Não atende	21,30 °C ≥ 21,98°C Não atende
RedCgTT ≥ RedCgTT_{min}	13% ≥0% Atende	11% ≥ 27% Não atende	10% ≥17% Não atende	10% ≥ 27% Não atende	13 % ≥ 17% Não atende	14% ≥ 27% Não atende	16% ≥27% Não atende	14% ≥27% Não atende
OBS: ΔTomáx igual a 2 °C para as UH unifamiliares. ΔTomín igual a 1 °C para todas as UH avaliadas.								

Fonte: Elaborada pela autora, baseado na NBR 15575:2021

O atendimento aos critérios estabelecidos para os níveis de desempenho térmicos intermediário (I) e superior (S) é de caráter não obrigatório. Todavia neste estudo optou por verificar se a edificação consegue atender a todos os níveis de desempenho. A avaliação desses níveis de acordo com a NBR 15575:2021 baseia-se na capacidade de incremento do $PHFT_{UH REAL}$ e de redução da carga térmica total (RedCgTT) do modelo real em relação ao modelo referência. O atendimento aos critérios de $PHFT_{UH}$, nos níveis intermediário (I) e superior (S), é realizado por meio de um incremento do $PHFT_{UH REAL}$ em relação ao $PHFT_{UH REF}$. Esses incrementos são obtidos a partir das Tabelas 20 e 21 da NBR 15575:2021 (em anexo) e servem para aumentar os comparativos entre os dois tipos de envoltórias. Vale ressaltar que para atingir o nível superior é necessário primeiramente atingir o nível mínimo e intermediário. Em comparação com o nível intermediário, o atendimento ao nível superior diferencia-se na obtenção de reduções mais elevadas da carga térmica total (CgTT).

Quanto ao critério 1 do nível intermediário que define $\Delta PHFT \geq \Delta PHFT_{min}^a$ as zonas bioclimáticas 1,2 e 3 que são as mais frias, não atenderam a esse critério com acréscimo do incremento. Demonstrando que estas zonas mais frias possuem maior dificuldade em manter a temperatura dentro da faixa de temperatura operativa (18°C a 26°C).

Todas as zonas bioclimáticas brasileiras conseguiram atingir o critério 2 do nível intermediário, este determina que $Tomáx_{UH real} \leq Tomáx_{UH ref} + \Delta Tomáx$. De forma que a temperatura máxima da unidade habitacional real conseguiu se manter menor que da unidade referência mesmo diante do incremento de temperatura.

Conforme o critério 3 do nível intermediário $Tomín_{UH_{real}} \geq Tomín_{UH_{ref}} - \Delta t_{o_{min}}$, as zonas bioclimáticas 7 e 8 com a utilização da taipa de pilão (solo-cimento) não conseguiram atingir temperatura inferior a habitação de alvenaria diante do incremento.

Já diante do critério 4 e último, do nível intermediário, apenas a zona bioclimática 1 conseguiu atender ao incremento da redução de carga térmica.

Levando em consideração todas as tabelas com dados de saída do open studio acima analisados, a edificação em taipa de pilão se mostrou mais eficiente que a edificação em alvenaria em todas as zonas bioclimáticas quando comparado a eficiência térmica e energética. E as zonas bioclimáticas 7 e 8, que possuem maiores temperaturas, obtiveram melhores índices com a utilização da taipa de pilão como vedação.

Os resultados demonstram que o projeto de taipa de pilão tende a possuir uma maior inércia térmica, permitindo a troca de umidade com o meio e reduzindo o consumo de climatização, de forma a resultar em ambientes mais eficientes energeticamente e termicamente. Com a necessidade de métodos sustentáveis, que não degradem o meio ambiente, a taipa de pilão também se mostra como boa alternativa, uma vez que possui boa resistência e não compromete a natureza, pois apresenta baixo consumo de energia na produção, nem sempre é necessário o transporte de matéria prima (diminuindo o CO₂ devido ao transporte), é reciclável, pois suas paredes voltam praticamente a forma original após sua demolição.

CAPÍTULO 5: CONSIDERAÇÕES FINAIS

No início deste trabalho foram elencados alguns objetivos, tais como levantar as características para o atendimento da eficiência energética em uma edificação residencial unifamiliar, construída em taipa de pilão com solo-cimento para as diferentes zonas bioclimáticas brasileiras, e analisar o desempenho dela em comparação com a alvenaria que é um dos métodos construtivos mais utilizado no Brasil.

Após concluídas as análises pode-se verificar que a edificação analisada conseguiu atingir os níveis mínimos da norma 15575:2021 em todas as zonas bioclimáticas, o que se torna expressivo já que a norma especifica que “o atendimento aos critérios estabelecidos para os níveis de desempenho térmicos intermediário e superior é de caráter não obrigatório”.

A partir da análise da edificação real (taipa de pilão solo-cimento) em relação a edificação referência (alvenaria) observou-se que a primeira possui uma maior inércia térmica, proporcionando uma diminuição das amplitudes térmicas internas e um atraso térmico no fluxo de calor devido a sua capacidade de armazenar calor. Assim, o pico de temperatura interna apresenta uma defasagem e um amortecimento em relação a temperatura externa. Porém, vale ressaltar que comparando os dois tipos de envoltória, por mais que a edificação real tenha melhores índices, esses valores não se mostram tão significativos quando analisado sob a percepção humana dentro do ambiente.

Quanto ao desempenho térmico, esse pôde ser verificado em todas as zonas, através da análise de carga térmicas. A edificação real apresentou melhores índices, com cargas térmicas menores e, conseqüentemente, melhor custo diante dos gastos energéticos.

As zonas bioclimáticas mais quentes (7 e 8) foram as que mais tiveram diferença de carga térmica entre a edificação real e edificação referência e, como consequência, obtiveram um maior gasto energético devido as altas temperaturas e, conseqüente, utilização de ar-condicionado.

Com relação aos índices de PHFT que determina a capacidade da edificação em manter a temperatura operativa dentro dos níveis estipulados pela norma, a taipa de pilão se mostrou mais eficiente também diante das temperaturas mais quentes, conseguindo atingir o percentual de 100% nas zonas 7 e 8 e pior índice nas zonas 1 e 2 que são as mais frias. Ainda que os resultados do PHFT não tenham sido tão satisfatórios para as zonas mais frias, pode--se notar que a taipa de pilão conseguiu atingir temperaturas maiores que a alvenaria diante das temperaturas mínimas, sendo um benefício para essas zonas que muitas vezes necessitam de aquecimento por tempo prolongado durante as estações mais frias.

ANEXOS

Anexo A- Tabela 20, incremento mínimo do $PHFT_{UH,real}$ e redução mínima de $CgTT_{UH,real}$ para o atendimento ao nível de desempenho térmico intermediário

Critério		Tipologia			
		Unifamiliar	Multifamiliar		
			Pavimento térreo	Pavimento tipo	Pavimento cobertura
$PHFT_{UH,ref}$ %	$CgTT_{UH,ref} / A_{p,UH}$ kWh/(ano.m ²)	$\Delta PHFT_{min}$ %			
$PHFT_{UH,ref} < 70\%$	Todos os valores	Obtido a partir do ábaco ou das equações da Figura 4			
$PHFT_{UH,ref} \geq 70\%$	Todos os valores	0	0	0	0
$PHFT_{UH,ref}$ %	$CgTT_{UH,ref} / A_{p,UH}$ kWh/(ano.m ²)	$RedCgTT_{min}$ %			
$PHFT_{UH,ref} < 70\%$	Todos os valores	0	0	0	0
$PHFT_{UH,ref} \geq 70\%$	$CgTT_{UH,ref} / A_{p,UH} < 100$	17	15	22	15
	$CgTT_{UH,ref} / A_{p,UH} \geq 100$	27	20	25	20

Fonte: NBR 15575:2021

Anexo B- Tabela 21, incremento mínimo do $PHFT_{UH,real}$ e redução mínima de $CgTT_{UH,real}$ para o atendimento ao nível de desempenho térmico superior

Critério		Tipologia			
		Unifamiliar	Multifamiliar		
			Pavimento térreo	Pavimento tipo	Pavimento cobertura
$PHFT_{UH,ref}$ %	$CgTT_{UH,ref} / A_{p,UH}$ kWh/(ano.m ²)	$\Delta PHFT_{min}$ %			
$PHFT_{UH,ref} < 70\%$	Todos os valores	Obtido a partir do ábaco ou das equações da Figura 4			
$PHFT_{UH,ref} \geq 70\%$	Todos os valores	0	0	0	0
$PHFT_{UH,ref}$ %	$CgTT_{UH,ref} / A_{p,UH}$ kWh/(ano.m ²)	$RedCgTT_{min}$ %			
Todos os valores	$CgTT_{UH,ref} / A_{p,UH} < 100$	35	30	45	30
	$CgTT_{UH,ref} / A_{p,UH} \geq 100$	55	40	50	40

NOTA O nível superior também pode ser obtido se o $PHFT_{UH,real}$ do modelo real for maior ou igual a 95 %, juntamente com o atendimento ao critério de temperaturas anuais máxima e mínima ($Tomáx_{UH}$ e $Tomín_{UH}$).

Fonte: NBR 15575:2021

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Desempenho de edificações habitacionais. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15220-3**: Desempenho Térmico de Edificações – Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2021.

ANDRADE, M.; FERREIRA, C.; HIRASHIMA, S. Avaliação do desempenho energético de fachadas: simulação de edifício comercial em diferentes zonas bioclimáticas brasileiras. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2018. 312.

BRUNO, P. **A conservação de paredes de terra crua: da análise à intervenção prática.** In: **Houses and cities built with earth: conservation, significance and urban quality.** Monsaraz. pág. 55-58. Lisboa. 2005.

CARVALHO, T. M. P. de; LOPES, W. G. R. A arquitetura de terra e o desenvolvimento sustentável na construção civil. In: CONGRESSO NORTE NORDESTE DE PESQUISA E INOVAÇÃO. **Anais.** Palmas: CONEPI, 2012.

CASSAR, B. C. **Análise comparativa de sistemas construtivos para empreendimentos habitacionais:** Alvenaria convencional x Light Steel Frame. trabalho de Conclusão de curso. Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2018.

CALDAS, L. R.; MARTINS, A. P. de S.; TOLEDO FILHO, R. D. Construção com terra no Brasil: avaliação ambiental da taipa de pilão. **PARC - Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 12, n. 00, p. e021015, 2021.

CBIC. Câmara Brasileira da Indústria da Construção Civil. **Construção Civil e Sustentabilidade.** Ed. 171. São Paulo, 2011. Disponível em: https://cbic.org.br/es_ES/construcao-civil-e-sustentabilidade/. Acesso em: 21 nov. 2022.

CORDEIRO, Carol Cardoso M. *et al.* Construções vernáculas em terra: perspectiva histórica, técnica e contemporânea da taipa de mão. Livro. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 10, p. e01906. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.20396/parc.v10i0.8651212> . Acesso em: 13 Jul. 2022.

CRISTELO, N.; GLENDINNING, S.; MIRANDA, T.; OLIVEIRA, D.; SILVA, R. Soil stabilisation using alkaline activation of fly ash for self compacting rammed Earth construction. **Construction and Building Materials**, v. 36, p. 7727-7735, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.06.037>. Acesso em: 26 Jul. 2022.

DE DEAR, R.; KIM, J.; PARKINSON, T. Residential adaptive comfort in a humid subtropical climate - Sydney Australia. *Energy and Buildings*, v. 158, p. 1296–1305, 2023.

DURANTE, L. C. *et al.* Conforto térmico e consumo de energia em habitação: estudo comparativo de sistemas construtivos. n: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2020. p. 1–8. DOI: 10.46421/entac.v18i.774. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/article/view/774>. Acesso em: 20 jun. 2023.

EPE. **Empresa de Pesquisa e Energética**. Perspectivas e Contribuições para o avanço em eficiência energética. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/imprensa/noticias/uso-de-ar-condicionado-no-setor-residencial-brasileiro-perspectivas-e-contribuicoes-para-o-avanco-em-eficiencia-energetica>. Acesso em: 20 jun. 2023.

FERNANDES, J. *et al.* Passive strategies used in Southern Portugal vernacular rammed earth buildings and their influence in thermal performance. **Renewable Energy**. V.142 p. 345-363, 2019.

FERREIRA, S. R. L. **O pensamento do ciclo de vida como suporte à gestão dos resíduos sólidos da construção e demolição**: exemplo no Distrito Federal e estudos de casos de sucessos no Brasil e exterior. 2009. Dissertação. Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

FERRER, J. A.; GARRIDO, A. **Eficiência Energética em Edifícios**. Curso do observatório de energias renováveis para a América Latina e o Caribe. Livro. 1ª edição. Editora UFV. 2013.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R.. **Manual de Conforto Térmico**. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

GOMES, Thaís Junqueira. **Análise de custos entre tijolos de solo-cimento e bloco cerâmico para uso em alvenaria na construção de casas populares**. 2017. Trabalho de conclusão de curso. Varginha, 2017. Disponível em: <http://repositorio.unis.edu.br/handle/prefix/111>. Acesso em: 21 jun. 2022.

GONZALO, G. E. **Manual de arquitetura bioclimática**. Livro. Tucumán: Nobuko, 2004.

HOFFMANN, M. V.; MINTO, F. C. N.; HEISE, A. F.; **Técnicas de Construção com Terra**. Taipa de Pilão. Bauru, SP: FEB-UNESP/PROTERRA, 2011. 79p. Disponível em: <http://www.redproterra.org>. Acesso em: 12 out. 2023.

IEA (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY). **World Energy Outlook**, 2016. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2016>. Acesso em: 30 jun. 2023.

INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia**, 2023. Dados meteorológicos. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em: 12 out. 2023.

JEAN, S. G.; LONGO, O. C.; LIMA, G. P.; A sustentabilidade e planejamento aplicados na construção civil sob a visão dos profissionais. **Research, Society and Development**, Vol.11 (5), p.e9611527864, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i5.27864>. Acesso em: 01 dez. 2022.

JIANG, B., et al. . Hygrothermal performance of rammed earth wall in Tibetan Autonomous Prefecture in Sichuan Province of China. **Building and Environment**, 181, 107128. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107128>.

JODIDIO, Philip. **Green Architecture**. Taschen: Bibliotheca Universalis, 2015.

KATO, Ricardo B.. **Comparação entre o sistema construtivo convencional e o sistema construtivo em alvenaria estrutural segundo a teoria da construção enxuta**. Dissertação. UFSC, Florianópolis, 2002. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/111939/193963.pdf?sequence=1>. Acesso em 01 jul 2022.

LABEEE. **Laboratório de Eficiência Energética**, 2023. Eficiência Energética em Edificações. Disponível em: <https://labeee.ufsc.br/pt-br/en-welcome>. Acesso em 01 out. 2023.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3ª edição, São Paulo, 2014. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/apostilas/eficiencia_energetica_na_arquitetura.pdf. Acesso em: 05 ago 2022.

LARUCCIA, Mauro M.. **Sustentabilidade e Impactos Ambientais da Construção Civil**. ENIAC, Guarulhos, SP, v.3, n.1, p.69-84, Jan/jun.2014. Disponível em: <https://doi.org/10.22567/rep.v3i1.124>. Acesso em: 01 dez. 2022.

MACEDO, D. B. G. **Metodologia de avaliação do ciclo de vida de sistemas construtivos - Aplicação em um sistema estruturado em aço**. 2011. Tese - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2011.

MARTINS, J. G. **Alvenaria: Condições Técnicas de execução**. Materiais de Construção 2. Livro. 69 p. 2009.

MENDES, Ludmila C. F.; BESSA, Sofia A. L.. Análise da evolução tecnológica da taipa de pilão contemporânea. **Rev. Mix Sustentabilidade**. v.8, n1, P.66-77. Florianópolis. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2022.v8.n1.66-77>. Acesso: 26 de Jul. 2022.

MILANI, Ana Paula S.; SILVA, Mayara T. C. . Condutividade térmica do material construtivo solo-cimento: um estudo bibliométrico. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022. **Anais** [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. 1–16. DOI: 10.46421/entac.v19i1.2069. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/article/view/2069>. Acesso em: 4 Jun. 2023.

MITSIDI, Projetos. Norma de desempenho térmico de edificações residenciais.: O que é e o que muda na nova versão? 2022. Disponível em: <https://mitsidi.com/norma-de-desempenho-termico-de-edificacoes-residenciais-o-que-e-e-o-que-muda-na-nova-versao/>. Acesso em 01 Jun. 2024.

NEVES, C.; FARIA, O. B. **Técnicas de construção com terra**. Bauru, SP :FEB-UNESP/PROTERRA. Bauru, SP: FEB-UNESP/PROTERRA, 2011. Pag. 80.

OLIVEIRA, Bruno A.. **Inserção da taipa de pilão mecanizada com apiloamento pneumático no mercado da construção sustentável no Brasil**. UFMG. Belo Horizonte, 2012.

OSÓRIO, Henrique. Conheça os principais sistemas construtivos utilizados no Brasil. **Revista Construfy**. 2021. Disponível em: <https://revista.construfy.com.br/conheca-os-principais-sistemas-construtivos-utilizados-no-brasil/>. Acesso em: 01 Jun. 2022.

PACHECO-TORGAL, F.; JALALI, Said. Earth construction: Lessons from the past for future eco-efficient construction. **Construction and building materials**, v. 29, p. 512-519, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.10.054>. Acesso: 14 Jul. 2022.

PBE EDIFICA. **Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (INI-R)**. Disponível em: <https://pbeedifica.com.br/nova-ini/inir>. Acesso em: 03 set. 2022.

PEREIRA, Caio. **Alvenaria de Vedação – Vantagens e Desvantagens**. Artigo. Escola Engenharia, 2018. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/alvenaria-de-vedacao/>. Acesso em: 29 jun. de 2022.

PINHEIRO, L. *et al.* Panorama da produção de obras em terra crua com design contemporâneo nos últimos 60 anos no Brasil. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE HISTÓRIA DA CONSTRUÇÃO LUSO-BRASILEIRA, 2. **Anais**. Porto: CEAU-FAUP, 2016.

PISANI, M. A.. **Taipas: A Arquitetura de Terra**. Universidade Presbiteria Mackenzie. São Paulo. 2018. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/6661453/Bioconstrucao-Maria-augusta-justi-pisani-Taipas-Arquitetura-de>. Acesso: 21 Jul. 2022.

POGGIO, Maria C. *et al.* **A Taipa de Pilão**. Arquitetura Bioconstrução. Disponível em: <https://sites.google.com/site/arquiteturabiossustentavel/a-taipa-de-pilao>. Acesso: 18 Jul. 2022.

PORTO, Duda. *MateriaBase*, 2018. Arquitetura e Urbanismo. Disponível em: <https://materiabase.com.br/Casa-Cor-2018-taipa-spa-origem>. Acesso: 20 Out. 2023.

RAMOS, G. *et al.* Adaptive behaviour and air conditioning use in Brazilian residential buildings. *Building Research & Information*, p. 1-16, 2023.

REDDY, B. V. V.; KUMAR, P. P. Embodied energy in cement stabilised rammed earth walls. **Energy and Buildings**, v. 42, p. 380-385, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.10.005>. Acesso em: 26 Jul. 2022.

ROAF, S *et al.* **Ecohouse: a casa ambientalmente sustentável**. Livro. Porto Alegre: Bookman, 2006.

SANTOS, A. C. *et al.* Uso do Energy Plus em pesquisas brasileiras. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17, 2018, Foz do Iguaçu. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2018.555.

SATO, Márcia Helena Yamoto. **Análise de Estruturas em Taipa de Pilão**. Orientador: Reyolando Manoel Lopes Rebello da Fonseca. Tese. USP. 2011. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3144/tde-26082011-140706/pt-br.php>. Acesso em: 21 Jul. 2022.

SENA JÚNIOR, C. A. S.; DO CARMO, L. R. S. **Estudo comparativo em habitações sociais: Alvenaria Convencional x Light Steel Frame**. 2015. 86p. Monografia. Faculdade de Engenharia, Instituto DOCTUM de Educação e Tecnologia, Caratinga, 2015.

SOUZA, L. G. Análise comparativa do custo de uma casa unifamiliar nos sistemas construtivos de alvenaria, madeira de lei e Wood frame. **Revista Online Especialize**. 2013.

SPANIOL, Norton Cesar. **Análise comparativa dos sistemas construtivos alvenaria convencional e wood frame para habitação de interesse social**. Orientador: Fracaro, Normelio Vitor. Dissertação. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2018.

STUARDY, Juliana. **Sustentarqui**, 2020. Ideias construtivas que visam promover a arquitetura e a construção sustentável. Disponível em: <https://sustentarqui.com.br/taipa-de-pilao-o-que-e-como-fazer-quais-sao-suas-vantagens/>. Acesso em: 30 Jul. 2023

TEIXEIRA, Andreia B.; BUENO, Karen C. A. de S. A taipa de pilão como alternativa estrutural. **Google for education**. USF. 2019. Disponível em: <http://lyceumonline.usf.edu.br/salavirtual/documentos/3270.pdf>. Acesso em: 18 Jul. 2022.

TELLI, F. H. **Tecnologias, sistemas construtivos e tipologias para habitações de interesse social em reassentamentos**. UFSC. 2014. Disponível em: <https://portalvirtuhab.paginas.ufsc.br/files/2014/03/FICHA-25-Taipa-de-pil%C3%A3o.pdf>. Acesso em 27 Jul. 2022.

TRIANA, M.A., LAMBERTS, R., SASSI, P., 2015. Characterisation of representative building typologies for social housing projects in Brazil and its energy performance. **Energy Policy** **87**, 524–541.

THOMAZ, Ercio et al. **Código de Práticas Nº 01: Alvenaria de vedação em blocos cerâmicos**. Livro. São Paulo: IPT. 65 p. 2009.

TOUFIGH, V.; KIANFAR, E. Reliability analysis of rammed earth structures. **Construction and Building Materials**, v. 127, p; 884-895, 2016. Disponível em: <https://sci-hub.se/10.1016/j.conbuildmat.2016.10.052>. Acesso em: 26 Jul. 2022.

FIGUEIRÓ, W. O. **Racionalização do processo produtivo de edifícios em alvenaria estrutural**. 2009. Monografia. Especialização em Construção Civil - Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

VENÂNCIO, Raoni.; PEDRINI, Aldomar. Investigando o projeto de envoltória: questionário sobre prática arquitetônica e desempenho térmico. XI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído (ENCAC) e VII Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído (ELACAC). **Anais...**,2011. Búzios, RJ, Brasil. 568.

VERALDO, Ana C. **Análise do processo construtivo de taipa mecanizada: estudo de caso da sede do canteiro experimental da UFMS**. Trabalho de conclusão de curso. Campo Grande. 2015.

WEIKU. **Calculadora de rentabilidade**. Disponível em: <https://weiku.com.br/calculadora/#2>. São Paulo. 2024.