



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

THAYNARA DE ALMEIDA CORRÊA E SILVA

CONFORTO TÉRMICO: DESENVOLVIMENTO DE UMA PLANILHA DE
CÁLCULO PARA FACILITAR A TOMADA DE DECISÕES DURANTE A
ETAPA DE PROJETO

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: **THAYNARA DE ALMEIDA CORRÊA E SILVA**

Nome completo do(a) orientador(a): **ANTOVER PANAZZOLO SARMENTO**

3. Título do trabalho

Título: **CONFORTO TÉRMICO: DESENVOLVIMENTO DE PLANILHA DE CÁLCULO PARA FACILITAR A TOMADA DE DECISÕES DURANTE A ETAPA DE PROJETO**

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

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

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

a) consulta ao(à) autor(a) e ao(à) orientador(a);

b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação.

O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo

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

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



Documento assinado eletronicamente por **ANTOVER PANAZZOLO SARMENTO, Orientador(a)**, em 15/05/2024, às 08:43, 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 **Thaynara de Almeida Corrêa e Silva, Usuário Externo**, em 16/05/2024, às 13:38, 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 **0064121** e o código CRC **ABFA25F7**.

THAYNARA DE ALMEIDA CORRÊA E SILVA

**CONFORTO TÉRMICO: DESENVOLVIMENTO DE PLANILHA DE CÁLCULO
PARA FACILITAR A TOMADA DE DECISÕES DURANTE A ETAPA DE PROJETO**

Defesa de mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Catalão como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Antover Panazzolo Sarmiento

CATALÃO - GO

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

Silva, Thaynara de Almeida Corrêa e
CONFORTO TÉRMICO: : DESENVOLVIMENTO DE PLANILHA
DE CÁLCULO PARA FACILITAR A TOMADA DE DECISÕES
DURANTE A ETAPA DE PROJETO / Thaynara de Almeida Corrêa e
Silva. - 2024.
88, f.

Orientador: Prof. Dr. Antover Panazzolo Sarmento.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Catalão,
Faculdade de Engenharia, Catalão, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil, Catalão, 2024.

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

1. Arquitetura bioclimática. 2. Conforto térmico. 3. Eficiência
energética. 4. Sustentabilidade. I. Sarmento, Antover Panazzolo ,
orient. II. Título.

CDU 624

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Ata nº 18 da sessão de Defesa de Dissertação de **THAYNARA DE ALMEIDA CORRÊA E SILVA**, que confere o título de Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração em Estruturas e Construção Civil.

Aos quatro dias do mês de abril de dois mil e vinte e quatro a partir das 13 horas, no Laboratório de Geoprocessamento, da Faculdade de Engenharia da UFCAT, realizou-se a sessão pública de Defesa de Dissertação intitulada “**CONFORTO TÉRMICO: DESENVOLVIMENTO DE PLANILHA DE CÁLCULO PARA FACILITAR A TOMADA DE DECISÕES DURANTE A ETAPA DE PROJETO**”. Os trabalhos foram instalados pelo Orientador, **Professor Doutor ANTOVER PANAZZOLO SARMENTO (PPGEC/UFCAT)** com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: **Professor Doutor WANDERLEI MALAQUIAS PEREIRA JUNIOR (PPGEC/UFCAT)**, membro titular interno; e do **Professor Doutor BRUNO FURTADO DE MOURA (PPGEP/UFCAT)**, 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 Antover Panazzolo Sarmento, 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 quatro dias do mês de abril de dois mil e vinte e quatro.



Documento assinado eletronicamente por **ANTOVER PANAZZOLO SARMENTO, Professor(a) do Magistério Superior**, em 04/04/2024, às 15:58, 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 **BRUNO FURTADO DE MOURA, Professor(a) do Magistério Superior**, em 04/04/2024, às 16:00, 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 **WANDERLEI MALAQUIAS PEREIRA JUNIOR, Professor(a) do Magistério Superior**, em 04/04/2024, às 17:31, 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 **0049668** e o código CRC **84C56A3C**.

“À todos que tornam meus dias especiais.”

AGRADECIMENTOS

A cada desafio enfrentado ao longo do caminho sempre temos apoio especial para seguir em frente. Àqueles que não importam o cansaço, estarão de pé para aplaudir o fim da jornada. Nessa etapa não foi diferente; inúmeras vezes pensei em desistir, entretanto o sorriso e o abraço forte me fizeram chegar até aqui. A esses, dedico essa vitória.

À Santíssima Trindade; Deus pai, filho e Espírito Santo por dar luz a minha vida.

Aos meus pais, pelo total companheirismo e apoio, por enxugarem as minhas lágrimas nos momentos em que fraquejei.

À minha irmã, por acreditar que conseguiria alcançar esse objetivo e colaborar em todas as etapas.

Em especial, ao meu orientador Prof. Dr. Antover Panazzolo Sarmiento, presença ímpar em todo meu crescimento profissional, assistiu minha monografia de conclusão de curso na engenharia civil, acolheu-me quando perdida nessa etapa, fez-me mais forte com suas palavras e ensinamentos.

Muito obrigada!

“A realidade diz: esqueça.

O coração me diz: sonhe.

A vida me diz: desperte-se”

(Eu tenho é raízes – Ivan Corrêa)

RESUMO

SILVA, T. A. C. **Conforto térmico: Desenvolvimento de uma planilha de cálculo para facilitar a tomada de decisões durante a etapa de projeto.** 2023. 88 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Universidade Federal de Catalão, Faculdade de Engenharia, Catalão, 2023.

O conforto térmico, além do bem-estar psicofisiológico relacionado às condições térmicas do ambiente; está diretamente ligado à produtividade e à segurança no ambiente de trabalho. Nesse contexto, a adoção dos princípios da arquitetura bioclimática emerge como uma abordagem que oferece soluções mais sustentáveis para alcançar o conforto térmico. No entanto, a tomada de decisões bem fundamentadas exige um entendimento aprofundado das propriedades térmicas dos materiais, das temperaturas dos fluidos circundantes e das regulamentações vigentes. Assim sendo, foi concebida uma planilha de cálculo projetada para auxiliar nesse processo decisório, garantindo o conforto térmico em conformidade com os padrões normativos e empregando princípios bioclimáticos. A planilha considera a transmitância térmica, a capacidade térmica, o atraso térmico, o fator solar, a área de abertura, área de elementos transparentes e as estratégias bioclimáticas adequadas para as estações de verão e inverno para as zonas bioclimáticas do Brasil. Para tanto, a planilha foi testada e validada. Por meio dos dados inseridos, é possível determinar se uma edificação será capaz de proporcionar conforto térmico sem depender do uso de sistemas de condicionamento de ar com o uso de materiais preconcebidos em norma, painéis sem montante ou blocos de vedação.

Palavras-chave: Arquitetura bioclimática. Conforto térmico. Eficiência energética. Sustentabilidade.

RESUMO

SILVA, T. A. C. **Thermal Comfort: development of a calculation spreadsheet to facilitate decision-making during the design stage.** 2023. 88 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Universidade Federal de Catalão, Faculdade de Engenharia, Catalão, 2023.

Thermal comfort, besides the psychophysiological well-being related to environmental thermal conditions, is directly linked to productivity and safety in the workplace. In this context, the adoption of bioclimatic architecture principles emerges as an approach that offers more sustainable solutions to achieve thermal comfort. However, making well-founded decisions requires a deep understanding of the thermal properties of materials, surrounding fluid temperatures, and current regulations. Therefore, a calculation spreadsheet was designed to assist in this decision-making process, ensuring thermal comfort in accordance with regulatory standards and employing bioclimatic principles. The spreadsheet considers thermal transmittance, thermal capacity, thermal delay, solar factor, opening area, transparent element area, and suitable bioclimatic strategies for summer and winter seasons in Brazil's bioclimatic zones. For this purpose, the spreadsheet was tested and validated. Through the entered data, it is possible to determine whether a building will be able to provide thermal comfort without relying on the use of air conditioning systems by using preconceived materials in standards, studless panels, or sealing blocks.

Keywords: Bioclimatic architecture. Thermal comfort. Energy efficiency. Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1.1 – Requisitos para ter conforto térmico.....	22
Figura 2.2.1 – Percas de calor e variáveis pessoais.....	24
Figura 2.3.1 – Cozinha: objetos que emitem calor.....	26
Figura 3.1.1 – Incidência solar das estações de verão e inverno em uma residência em Buenos Aires	29
Figura 3.1.2 – Representação da movimentação do ar em uma edificação considerando as aberturas.....	30
Figura 3.1.3 – Ventilação horizontal e ventilação cruzada em uma escola na comunidade de Jerusalén de Miñaró no Peru	31
Figura 3.1.4 – Rosa dos ventos da cidade de Florianópolis, extraída do programa Analysis SOL-AR.....	32
Figura 3.1.5 – Inércia térmica: envelope do edifício.....	33
Figura 4.1.1 – Carta bioclimática de Olgay.....	36
Figura 4.1.2 – Carta bioclimática adaptada e adotada pelo Brasil	37
Figura 4.1.3 – Zoneamento bioclimático brasileiro.....	38
Figura 4.1.4 – Zona bioclimática 1	39
Figura 4.1.5 – Zona bioclimática 2.....	40
Figura 4.1.6 – Zona bioclimática 3.....	41
Figura 4.1.7 – Zona bioclimática 4.....	42
Figura 4.1.8 – Zona bioclimática 5.....	43
Figura 4.1.9 – Zona bioclimática 6.....	44
Figura 4.1.10 – Zona bioclimática 7.....	45
Figura 4.1.11 – Zona bioclimática 8.....	46
Figura 6.1.1 – Metodologia da pesquisa sistêmica realizada	53
Figura 6.2.1 – Estruturação da planilha: escolhas do usuário	55
Figura 6.2.2 – Estruturação da planilha: respostas da planilha	56
Figura 7.1.1 – Países com pesquisas na arquitetura bioclimática e fatores que influenciam o conforto térmico das edificações	58
Figura 7.2.1 – Primeira aba: início da planilha	64
Figura 7.2.2 – Exemplo Cidade de Niterói.....	66
Figura 7.2.3 – Aba parede pré-configurada.....	67
Figura 7.2.4 – Parede pré configurada em planilha conforme a NBR 15220/3	67
Figura 7.2.5 – Parede pré-configurada, exemplo.	68
Figura 7.2.6 – Resumo: exemplo para parede pré configurada.....	69
Figura 7.2.7 – Aba parede personalizada – blocos.....	70
Figura 7.2.8 – Parede personalizada – blocos, exemplo.....	72
Figura 7.2.9 – Resumo: exemplo parede personalizada - blocos	73
Figura 7.2.10 – Aba parede personalizada - painel sem montante.....	74
Figura 7.2.11 – Aba parede personalizada - painel sem montante, exemplo	76
Figura 7.2.12 – Resumo: exemplo parede personalizada - painel sem montante	77
Figura 7.3.1 – Aba parede personalizada - blocos, validação alvenaria convencional	78

Figura 7.3.2 – Resposta parede personalizada - blocos, alvenaria convencional.....	79
Figura 7.3.3 – Aba parede personalizada - blocos, validação alvenaria estrutural	79
Figura 7.3.4 – Resposta parede personalizada - blocos, alvenaria estrutural.	80
Figura 7.3.5 – Aba parede personalizada - painel sem montante, validação ICF	81
Figura 7.3.6 – Resposta parede personalizada - painel sem montante, ICF.....	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1 – Transmitância térmica de referência para paredes externas	50
Tabela 5.2 – Capacidade térmica de referência para paredes externas.....	50
Tabela 5.3 – Percentual de abertura de referência para ventilação.....	50
Tabela 5.4 – Proporção de referência dos elementos transparentes	50

LISTA DE QUADROS

Quadro 6.2.1 – Parâmetros normativos para garantia de conforto térmico sem condicionadores de ar.	54
Quadro 7.1.1 – Principais resultados de estudos sobre estratégias bioclimáticas passivas aplicadas no envelope da edificação (continua)	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AF	Acrílico Fosca
AO	Outros Acabamentos
ASB	Acrílico Semibrilho
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i>
CER	Centro Especializado em Reabilitação
EIA	<i>Independent Statistics and Analysis U.S. Energy Information Administration</i>
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICF	Insulated Concrete Forms
ISO	Organização Internacional de Normalização
NBR	Norma Brasileira
ONU	Organização das Nações Unidas
PDF	Formato Portátil de Documento
PVA	Acetato de Polivinila
PIB	Produto Interno Bruto
UPA	Unidade de Pronto Atendimento
SVVE	Sistema de vedações verticais externas

LISTA DE SÍMBOLOS

C_T	a capacidade térmica total do componente (J/K)
C_{Text}	capacidade térmica da camada externa do componente (J/K)
FS_0	fator solar de elementos opacos em percentagem
R_t	resistência térmica de superfície a superfície de um componente ((m ² .K) /W)
R_T	resistência térmica de ambiente a ambiente ((m ² .K) /W)
U	transmitância térmica de um componente (W/ (m ² .K))
φ	atraso térmico (horas)
α	absortância à radiação solar – função da cor
λ	condutividade térmica do material (W/(m.K)
ρ	densidade de massa aparente do material (kg/m ³)
c	calor específico (kJ/(kg.K)
P_v	Porcentagem de ventilação
A_v	Área de ventilação
A_p	Área do piso

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	Objetivos.....	18
1.1.1	Objetivo geral	18
1.1.2	Objetivos específicos	18
1.2	Estrutura do trabalho.....	18
2	SUSTENTABILIDADE, ENERGIA E CONFORTO TÉRMICO.....	20
2.1	Conforto térmico.....	22
2.2	Variáveis pessoais.....	23
2.3	Variáveis climáticas.....	25
2.3.1	Temperatura de bulbo seco.....	25
2.3.2	Temperatura radiante média.....	25
2.3.3	Umidade relativa do ar	26
2.3.4	Velocidade do ar.....	26
3	ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA.....	27
3.1	Estratégias bioclimáticas.....	28
3.1.1	Radiação solar.....	28
3.1.2	Ventilação.....	29
3.1.3	Inércia térmica	32
3.1.4	Aplicação das estratégias bioclimáticas	33
4	NBR: 15220: DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES	35
4.1	Zoneamento bioclimático brasileiro	36
4.1.1	Zona 1.....	38
4.1.2	Zona 2.....	39
4.1.3	Zona 3.....	40
4.1.4	Zona 4.....	41
4.1.5	Zona 5.....	42
4.1.6	Zona 6.....	43
4.1.7	Zona 7.....	44
4.1.8	Zona 8.....	45
4.2	Métodos de cálculos.....	46
4.2.1	Transmitância térmica	46
4.2.2	Atraso térmico	47
4.2.3	Fator de ganho de calor solar de elementos opacos.....	48
5	NBR 15575: EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS — DESEMPENHO.....	49
6	MATERIAIS E MÉTODOS.....	52
6.1	Primeira etapa – Estado da arte.....	52
6.2	Segunda etapa – Levantamento de requisitos do sistema.....	53
6.3	Terceira etapa – Validação da planilha de cálculo.....	56
7	RESULTADOS E DISCUSSÕES	58
7.1	Estado da arte.....	58
7.2	Estruturação da planilha de cálculo	63
7.3	Validação da planilha.....	78

8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	82
	REFERÊNCIAS	83

1 INTRODUÇÃO

Desde tempos ancestrais, o ser humano manteve uma conexão intrínseca com a natureza. A contar dos primórdios, quando as sociedades eram nômades, até os tempos atuais, em que a economia global depende essencialmente das matérias-primas provenientes do meio ambiente, essa ligação se manteve constante.

No entanto, assim como o mercado econômico é regido pelas leis da oferta e da demanda, o consumo excessivo e irresponsável dos recursos naturais, sem a devida consideração pelas precauções necessárias, tem conduzido a um aumento acentuado nos preços das matérias primas; e com o desgaste ambiental intensificando o aquecimento global a sociedade acaba utilizando meios de atingir o conforto térmico por condicionadores de ar, aumentando o consumo de energia.

De acordo com dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2023), o consumo de energia elétrica nos dez países com maior demanda registrou um aumento de cerca de 31% entre os anos de 2012 e 2021. Paralelamente, durante esse mesmo período, a produção desse recurso teve um crescimento de aproximadamente 29%. Além disso, ressalta-se que a geração global de energia elétrica ainda se baseia predominantemente em fontes não renováveis e produtoras de gases estufas, como por exemplo combustíveis fósseis, representando cerca de 61,10% do total em 2020. Ainda salienta que apenas 15% da energia consumida mundialmente é oriunda de fontes renováveis.

Grande parte da energia elétrica consumida em um país origina-se de edifícios, sejam eles residenciais ou comerciais. Segundo Pérez-Lombard *et al.* (2007), essas estruturas são responsáveis por cerca de 20% do consumo de energia elétrica na União Europeia. Nos Estados Unidos da América, de acordo com o *Independent Statistics and Analysis U.S. Energy Information Administration - EIA* (2023), esse percentual chega a atingir 40%.

No Brasil, a demanda por energia elétrica vem apresentando crescimento. Conforme indicado pelos dados do EPE (2023), na última década, as regiões norte e centro-oeste tiveram aumentos de consumo de aproximadamente 27% e 24%, respectivamente. Ademais, semelhantemente à União Europeia e os Estados Unidos da América, constatou-se que, no Brasil, 48,16% do consumo total de energia é atribuível ao uso residencial (29,99%) e comercial (18,17%).

Muitos fatores atingem o sistema elétrico de um país, todavia, a demanda crescente por climatização artificial em busca do conforto térmico vem ganhando destaque. O uso de condicionadores de ar impacta não somente a tarifa mensal dos edifícios, mas também, toda

dinâmica de geração e distribuição de eletricidade, principalmente nos horários de pico. Conforme indicado pelo EPE (2023), o emprego de condicionadores de ar no Brasil mais do que dobrou no período entre 2005 e 2017. Sendo assim, projetar edifícios energeticamente eficientes para minimizar o consumo de energia, mantendo ou melhorando nível de conforto térmico tem se tornado pauta constante de estudos.

A arquitetura bioclimática preconiza a harmonia entre homem e natureza. Desta maneira, a idealização dos projetos deve considerar as condições climáticas e ambientais ao projetar de forma a garantir o conforto térmico ideal com o mínimo de uso de energia; ou seja, elevando a eficiência energética da estrutura e minimizando os impactos negativos ao meio ambiente (SAYAD *et al.*, 2022).

Para tanto, é fundamental conhecer e avaliar todos os parâmetros que interferem no projeto bioclimático; como design da construção, os materiais das vedações, as espessuras dos elementos, permeabilidade da corrente de ar, reflectância dos acabamentos, dentre outros parâmetros, além, é claro, das condições climáticas e ambientais do local (JANNAT *et al.*, 2020). Entretanto, torna-se uma técnica dispendiosa, requerendo muito tempo, sendo substancial conhecimento do projetista. Hoje, devido a dinâmica do mercado da construção civil, acaba sendo deixada de lado.

No contexto dos softwares disponíveis no mercado, existem várias ferramentas desenvolvidas para simular e avaliar a capacidade de um edifício em proporcionar conforto térmico aos seus ocupantes. Entre essas ferramentas, destacam-se o *EnergyPlus*, *eQuest* e *Green Building Studio*. No entanto, esses programas muitas vezes demonstram limitações durante a fase de pré-projeto, que inclui o levantamento de dados para arquitetura, programa de necessidades arquitetônicas, estudo de viabilidade, estudo preliminar e anteprojeto de arquitetura (ABNT, 1995), pois avaliam o conforto térmico com base em simulação de cenários.

Sendo assim, em um estudo conduzido por Silva *et al.* (2016), apoiado pelo software *EnergyPlus*, foram simulados oito sistemas de vedação, variando os materiais, visando a tomada de decisão mais apropriada para um edifício residencial em termos de conforto térmico e desempenho energético, ao final, concluiu a melhor eficácia do sistema de tijolo maciço duplo.

Posto isto, no estudo preliminar, etapas como a definição de materiais a serem utilizados na construção, tamanho de aberturas, cores indicadas de fachada, por exemplo, são cruciais para um projeto executivo alinhado às premissas da arquitetura bioclimática. Nesse contexto, além das normas em vigor, que já oferecem orientações para a elaboração de projetos bioclimáticos, a presença de ferramentas que agilizem o processo de concepção torna-se indispensável.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Desenvolver uma planilha de cálculo capaz de fornecer suporte aos projetistas na tomada de decisões adequadas para produzir projetos bioclimáticos, respaldando todos os parâmetros na NBR 15220: Desempenho térmico de edificações e na NBR 15575: Edificações habitacionais – Desempenho, com enfoque no subsistema de vedações verticais.

1.1.2 Objetivos específicos

Para desenvolver a planilha será necessário:

- Realizar a revisão teórica sobre o assunto na base de dados *Scopus*;
- Analisar os aspectos que influenciam o conforto térmico;
- Compreender a NBR 15220: Desempenho térmico de edificações;
- Compreender a NBR 15575: Edificações habitacionais – Desempenho;
- Desenvolver uma planilha no software *Microsoft Excel*;
- Validar a planilha.

1.2 Estrutura do trabalho

No capítulo posterior a introdução e aos objetivos, apresenta-se uma discussão de sustentabilidade, energia e conforto térmico.

O terceiro capítulo pauta a arquitetura bioclimática e as estratégias bioclimáticas para melhorar o conforto térmico.

No quarto capítulo elucida a compreensão da NBR: 15220 e explana as recomendações para cada zona bioclimática brasileira

No quinto capítulo realiza-se a compreensão da NBR: 15575 e explana as recomendações para cada zona bioclimática brasileira.

No sexto capítulo é apresentado os materiais e métodos para alcançar o objetivo proposto.

No capítulo sétimo expõe os resultados obtidos nas etapas do estudo.

No capítulo oitavo trata das conclusões, destacando os resultados obtidos e sugestões para trabalhos futuros.

2 SUSTENTABILIDADE, ENERGIA E CONFORTO TÉRMICO

O conceito de sustentabilidade pode ser compreendido sob duas óticas, a primeira vertente respaldado da ecologia enfatizando a capacidade do meio ambiente de recuperar e reproduzir diante as ações naturais ou antrópicas e a segunda, no âmbito econômico, com a finitude das matérias primas (NASCIMENTO, 2012). Em toda história do homem é possível observar a grande dependência para com a natureza, logo, a ideia de perder essa relação ocasionou preocupação em frear e/ou mitigar os impactos negativos dessa interação.

É notório a crescente vinculação nas mídias sobre preservação do meio ambiente e as consequências das ações antrópicas nas mudanças climáticas; todavia, essa discussão é recente, sendo mais divulgada após a década de 1960.

Foi em Estocolmo, no ano de 1972, onde a Organização das Nações Unidas (ONU) deu início a uma discussão verdadeiramente abrangente sobre a interação entre o ser humano e a natureza. Nesse momento, foram unidos os conceitos de crescimento econômico, preservação ambiental e progresso social. Somente após 15 anos desse evento, conferência Estocolmo-72, foi que o conceito de desenvolvimento sustentável foi formalmente delineado no Relatório de Brundtland (MIKHAILOVA, 2004). Esse conceito se refere à busca do progresso no presente sem comprometer a capacidade das futuras gerações de suprirem suas próprias necessidades; aglutinando, as duas visões – ecológica e econômica – de sustentabilidade.

Porém, somente em 1992, no Brasil – ECO-92 – foi estabelecido o primeiro pacto global a favor do desenvolvimento sustentável, a Agenda 21. A Agenda 21 trata-se de um programa detalhado que concilia a proteção ambiental, justiça social e eficiência econômica cujo objetivo maior é assegurar a sustentabilidade mundial no século XXI. Posto isto, temos que o desenvolvimento sustentável é responsabilidade de toda a sociedade, abrange não somente a esfera ambiental como também a econômica e social; governos, empresas e a comunidade em geral (CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE O MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 1995).

Desde então, houve extensas discussões e implementações de diversas medidas para reduzir os impactos ao meio ambiente. Muitas dessas ações tornaram-se parte integrante do cotidiano, como a instalação de filtros nas chaminés industriais, a promoção da reciclagem e a ampliação das fontes de energia renovável, entre outras iniciativas.

Sendo assim, os setores empresariais vêm mudando de conduta, corroborando para adesão de produção com menos impactos ao meio ambiente (SILVA E PAULA, 2019). No mercado da construção civil não foi diferente.

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022), o setor da construção civil desempenha um papel fundamental na economia, sendo um dos setores primordiais na geração de empregos e exerce um papel crucial no Produto Interno Bruto do país (PIB), crescendo, apenas no ano de 2021, sua participação em 9,7%. Todavia o setor também é responsável pelo alto consumo de matérias-primas, geração de resíduos e consumo de energia. Segundo John (2017) é possível presumir que, somente a indústria da construção, seja responsável por cerca de 50% dos recursos naturais, sendo esses, em sua grande maioria, não renováveis.

Sendo assim, pensar em desenvolvimento sustentável na construção implica em planejar as ações antes, durante e após as construções; proporcionando redução dos impactos ambientais, garantindo viabilidade econômica e possibilitando uma boa qualidade de vida para as gerações atuais e futuras. Portanto, deve-se analisar o ciclo de vida da obra como um todo, desde a concepção a manutenção.

O processo de obtenção dos principais materiais da construção civil brasileira (cerâmica, aço, cimento, gesso, madeira) envolve quantidades substanciais de energia térmica, conseguida, na maioria das vezes, por meio de combustíveis fósseis e geradores de efeitos estufas (JOHN, 2017). Além disso, quase 50% da energia produzida no Brasil – considerando apenas em construções residenciais e comerciais – é consumida durante o uso das edificações, evidenciando ineficiência energética do setor (EPE, 2023).

Ao observar em escala global, durante o uso dos edifícios, o consumo de energia destinado a climatização teve um aumento considerável, de 1990 a 2016, mais que triplicou. Esse crescimento na demanda é motivado, principalmente, pela urbanização dos países, sendo expressivamente observada nas regiões mais quentes e em desenvolvimento, como o caso do Brasil (EPE, 2018).

Todavia, o aumento na procura por climatização artificial em edifícios acarreta implicações em todo sistema de geração e distribuição de energia. Esse, para satisfazer as novas demandas impostas, exerce uma pressão adicional sobre o meio ambiente, trazendo como consequência, mais mudanças climáticas, resultando, em uma maior necessidade de climatização artificial. Isso estabelece um ciclo prejudicial e contínuo.

Vindo de encontro ao ciclo vicioso (conforto térmico – aumento de energia – mudanças climáticas) a arquitetura bioclimática integra o projeto dos edifícios com o meio ambiente, usando os recursos disponíveis (clima, sol, ventilação, sombra, chuva, ventos) para garantir conforto térmico com pouca ou nenhuma energia. Sendo assim, trabalha com os elementos

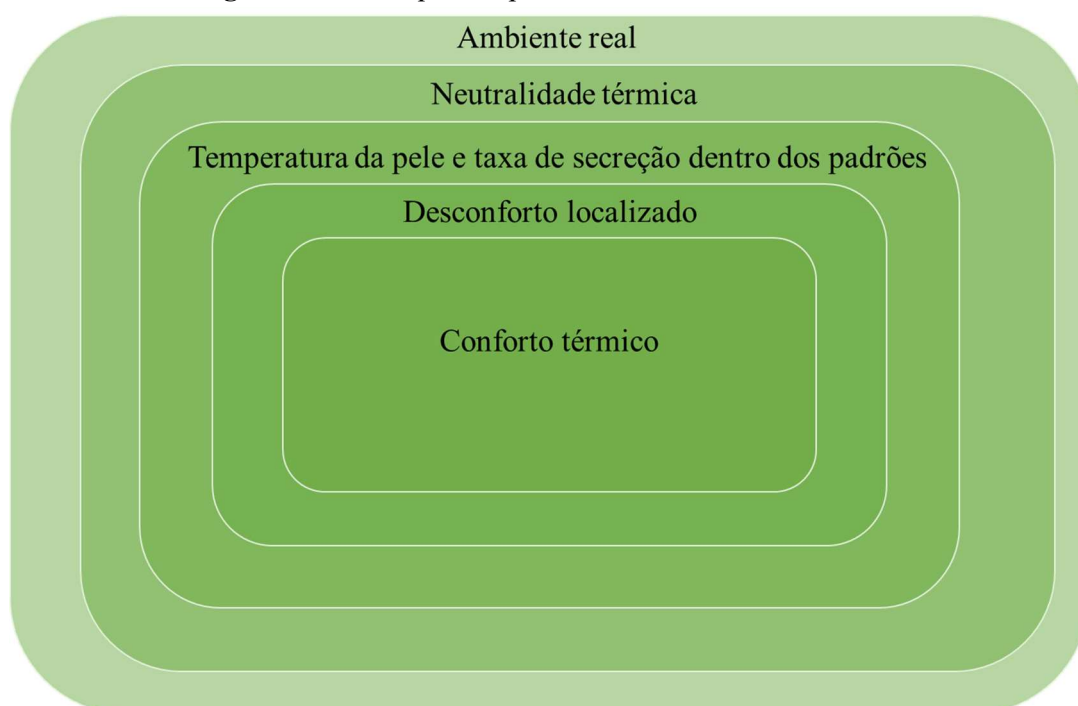
construtivos, desenho e materiais, para aproveitar as características locais e garantir condições de bem-estar termofisiológico ao ser humano (ZAMBRANO *et al.*, 2020).

2.1 Conforto térmico

O ser-humano é um ser homeotérmico, ou seja, possui a capacidade de regular a própria temperatura, mantendo-a constante, independente das variáveis climáticas. Todavia, estamos constantemente realizando trocas térmicas com o meio através dos processos de radiação, convecção, condução, evaporação e respiração. Dependendo das condições térmicas do ambiente acionamos os mecanismos termorreguladores (voluntários ou involuntários) para manter constante a temperatura corporal, gerando a sensação de frio ou calor (LAMBERTS *et al.*, 2014; CARVALHO, 2018).

Entretanto, conforto térmico é diferente de neutralidade térmica. O equilíbrio entre o fluxo de calor do organismo com o meio ao redor, mantendo constante a temperatura corporal – neutralidade térmica – é condição necessária, mas não suficiente para garantir o conforto térmico (LAMBERTS *et al.*, 2002; ABNT, 2005). Para que haja conforto térmico é necessário garantir neutralidade térmica, temperatura da pele e taxa de secreção dentro dos padrões, inexistência de desconforto localizado, como representado na Figura 2.1.1.

Figura 2.1.1 – Requisitos para ter conforto térmico.



Fonte: Adaptado de Lamberts *et al.* (2002).

De acordo com a ASHRAE 55 (2017), o conforto térmico pode ser definido como o estado mental que indica satisfação com o ambiente térmico. Já a NBR 15220 (ABNT, 2005) o conceitua de forma mais abrangente, caracterizando-o como o bem-estar psicofisiológica de um indivíduo em relação às condições térmicas do ambiente.

Para mais, garantir conforto térmico nas edificações vai além de valorizar o bem-estar do indivíduo, está intimamente ligado ao aumento da produtividade, a menor probabilidade de acidentes de trabalho e de comportamentos de risco, além de não prejudicar a saúde (LAMBERTS *et al.*, 2002).

Todavia, existem algumas variáveis capazes de influenciar o conforto térmico, algumas das quais podem ser mensuráveis e outras não, além de poderem ser controladas ou não. Essas variáveis podem ser classificadas em dois grupos distintos: variáveis pessoais e variáveis climáticas (LAMBERTS *et al.*, 2002; CARVALHO, 2018).

2.2 Variáveis pessoais

O corpo humano pode ser comparado a uma máquina térmica, produz calor e energia através da atividade que realiza. Sendo assim, à medida que a necessidade de energia aumenta, intensifica a atividade metabólica resultando em maior produção de calor (FROTA *et al.*, 2001).

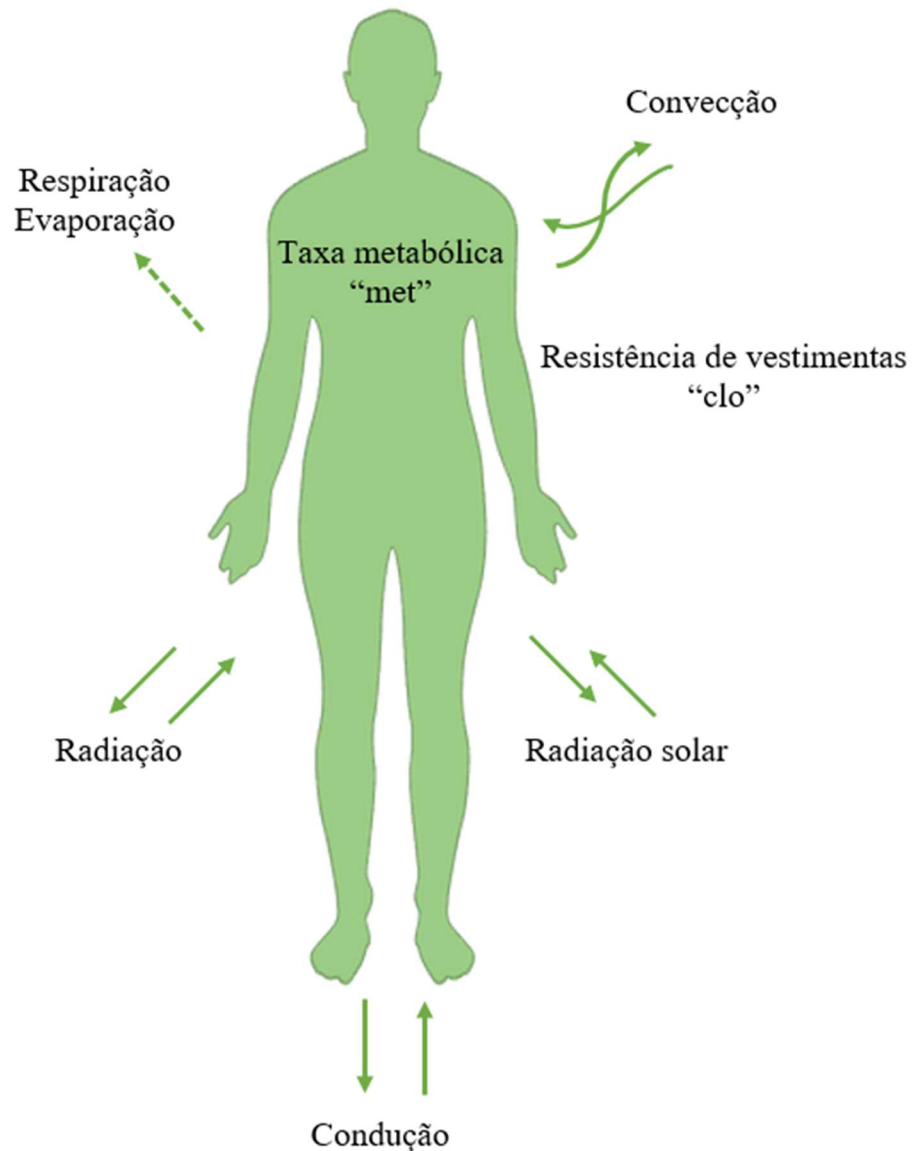
As variáveis pessoais ou subjetivas são independentes do ambiente. Características como etnia, sexo, idade, altura, peso, sensibilidade térmica são alguns parâmetros que interferem na percepção de conforto térmico, porém, como são de difícil mensuração, não são consideradas nos cálculos apresentados nas normas vigentes (LAMBERTS *et al.*, 2002; LAMBERTS *et al.*, 2014; CARVALHO, 2018). Todavia pode-se mensurar a taxa metabólica e o índice de resistência térmica de vestimentas.

Segundo a NBR 15220 (ABNT, 2005), taxa metabólica refere-se à produção de energia do corpo, sendo expressa em W/m^2 . Segundo a ASHRAE 55 (2017) taxa metabólica é a medida de transformação de substâncias químicas em energia, calor e trabalho mecânico mediante as atividades metabólicas do organismo, sendo expressa em “met” – 1,0 met igual a $58,2 W/m^2$; isto é, 1,0 met corresponde a energia produzida por unidade de área de superfície da pele de uma pessoa média sentada em repouso. Na ISO 7730/2005: *Ergonomics of the thermal environment- Analytical determination and interpretation of thermal Comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria* é possível obter valores de taxa metabólica de algumas atividades.

Agora, a resistência térmica das vestimentas é definida como a capacidade da roupa de resistir à transferência de calor sensível por meio de condução, convecção e radiação entre a pele e a superfície externa do vestuário (ABNT, 2005). Para Frota *et al.* (2001), a vestimenta pode ser entendida como um escudo que deixa o ar parado dificultando as trocas de calor do corpo com o ambiente por condução, convecção e radiação. Sendo assim, quanto maior a resistência térmica das vestimentas menor serão as trocas de calor. A resistência térmica das vestimentas é medida em “clo” – 1,0 clo é igual a 0,155 m² K / W. A ASHRAE 55 (2017) e a ISO 7730 (2005) apresentam valores de “clo” para algumas peças de vestimentas.

A Figura 2.2.1 resume de maneira esquemática as trocas de calor do corpo com o meio externo e as variáveis pessoais – taxa metabólica e resistência de vestimentas.

Figura 2.2.1 – Percas de calor e variáveis pessoais



Fonte: Autoria própria.

2.3 Variáveis climáticas

As variáveis relativas ao ambiente o qual o usuário está inserido são designadas variáveis climáticas. Estas, geralmente, são mensuradas e estão fora do controle do usuário, sendo assim, destaca a temperatura de bulbo seco, temperatura radiante média, umidade relativa do ar e velocidade do ar.

2.3.1 Temperatura de bulbo seco

Também denominada temperatura do ar, a temperatura de bulbo seco é mensurada, em graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$), por meio de um termômetro com dispositivo de proteção contra a influência da radiação térmica (ABNT, 2005).

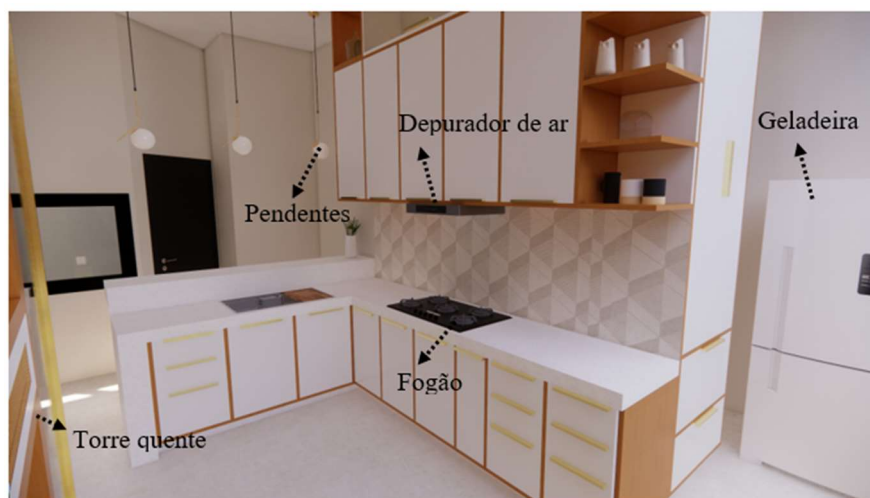
A temperatura do ar influencia na percepção de conforto, uma vez que está relacionada a perda de calor do corpo para o ambiente. Sendo assim, quando a temperatura do ar entra em contato com a pele, permite a perda de energia do corpo pelo processo de radiação. Conseqüentemente, o ar mais quente e menos denso sobe, enquanto o ar frio desce, proporcionando a sensação de resfriamento do ambiente (LAMBERTS *et al.*, 2002; SILVA, 2015).

2.3.2 Temperatura radiante média

Temperatura radiante média é a temperatura uniforme de um ambiente imaginário no qual a troca de calor do corpo humano por radiação é igual à troca de calor por radiação no ambiente real não uniforme (ABNT, 2005). Expressa em graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$).

Dentro de um ambiente real existe inúmeros objetos que emitem radiações interferindo na troca de calor do corpo com o ambiente, dessa maneira, calcula-se a temperatura média radiante desse ambiente. Na Figura 2.3 está destacado alguns objetos presentes no dia a dia.

Figura 2.3.1 – Cozinha: objetos que emitem calor



Fonte: Autoria própria.

2.3.3 Umidade relativa do ar

A umidade relativa do ar é razão entre a umidade absoluta do ar e umidade absoluta do ar saturado para a mesma temperatura e pressão atmosférica, expressa em % (ABNT, 2005).

A umidade do ar está intimamente ligada ao mecanismo de evaporação, isto é, quanto maior a umidade relativa do ar, menor será a evaporação e por consequência a remoção de calor, interferindo na sensação de conforto (LAMBERTS *et al.*, 2002).

A umidade relativa do ar é consequência da evaporação da água de lagos, rios e mares e evapotranspiração das plantas (CARVALHO, 2018).

2.3.4 Velocidade do ar

Trata-se da velocidade de deslocamento do ar, expressa em m/s. Está intimamente ligada com a sensação de conforto, haja vista que colabora para dissipação de calor do corpo para o ambiente (LAMBERTS *et al.*, 2002; SILVA, 2015).

A velocidade do ar é influenciada pelos elementos do entorno, como topografia, construções, vegetação, altitude e rugosidade do terreno (CARVALHO, 2018).

3 ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA

A construção de edifícios foi e ainda é papel importante para o desenvolvimento da sociedade. A transição da sociedade nômade para aquelas que se estabeleceram em moradias possibilitou o surgimento de aldeias e cidades, impulsionando o progresso. Além disso, as edificações corroboram significativamente para segurança e conforto.

O aumento do aquecimento global, das emissões de gases de efeito estufa, dos custos altos de energia, tem feito a discussão de otimização dos projetos de construção ser mais frequente (KALUA, 2016; EDE *et al.*, 2017). Consequentemente, além de servirem de abrigo, as construções devem fornecer conforto sem grande gasto energético.

Entretanto, sabe-se que em grande parte das obras, é priorizado o custo em detrimento do desempenho. Sendo assim, o impacto das mudanças climáticas, viabilidade operacional de energia e eficiência energética raramente são contemplados nos projetos de arquitetura (TUBELO *et al.*, 2021).

Juntamente com o fervilhar dos debates de preservação ambiental, a partir da década de 1960, começaram os primeiros estudos de arquitetura e meio ambiente. Nos Estados Unidos da América, os irmãos Victor e Aladar Olgyay, percussores do bioclimatismo, começaram a debater o tema projeto bioclimático, destacando a interrelação da climatologia, biologia, tecnologia e arquitetura (ARÉVALO, 2015). Sayad *et al.* (2022) definiu projeto bioclimático como sendo um processo que leva em consideração as condições climáticas e ambientais ao projetar, garantido conforto e bem-estar do usuário com uso externo de energia mínimo.

Desta maneira, o projeto das edificações deve ser um conjunto de boas medidas, as quais considerem aspectos históricos, culturais, estéticos e econômicos; além de garantir condições de bem-estar para o usuário e possuir relação harmônica com o meio ambiente (FERNANDES, 2009). Vindo ao encontro dessas premissas está a arquitetura bioclimática.

Nos estudos de Bogo *et al.* (1994), foi destacado que a climatologia, aplicada ao contexto da interação com seres vivos (sejam seres humanos, animais ou vegetais), é denominada bioclimatologia. Em suma, no âmbito desse estudo, o termo "bioclimático" pode ser compreendido como a conexão entre o ser humano e o ambiente, com a arquitetura funcionando como mediadora dessa interação. A arquitetura encarrega de adaptar o ambiente construído às condicionantes locais, contribuindo para a harmonia e interação entre os elementos dessa relação (FERNANDES, 2009; SALVADOR, 2017).

Sendo assim, a arquitetura bioclimática pode ser entendida como um conjunto de elementos arquitetônicos e construtivos os quais possuem a capacidade de modificar as

condições do microclima, com o objetivo de alcançar o conforto térmico e satisfação do ser humano. Desta maneira, as soluções projetuais, na arquitetura bioclimática, priorizam o aproveitamento das condicionantes locais, buscando a redução do consumo de energia e a minimização de impactos negativos ao meio ambiente (ARÉVALO, 2015; ZAMBRANO *et al.*, 2020).

Posto isso, o melhor entendimento dos efeitos dos componentes do envelope do edifício (estrutura responsável por separar o ambiente interno do ambiente externo – paredes, piso, telhado e janelas) e do desenho da arquitetura são essenciais para a criação de edifícios energeticamente eficientes (EDE *et al.*, 2017; JANNAT *et al.*, 2020). Logo, é preciso conhecer e analisar a influência de cada decisão. Para a arquitetura propiciar economia de energia e conforto dos usuários a análise das propriedades térmicas dos materiais de construção, as características locais, as particularidades de cada clima são cruciais (ASCIONE *et al.*, 2015; GAN *et al.*, 2019; PARASCHIV *et al.*, 2020).

3.1 Estratégias bioclimáticas

A arquitetura bioclimática busca a harmonia com meio ambiente, procura minimizar o impacto negativo a natureza e atender as necessidades psicofisiológicas do usuário. Sendo assim, o projeto com a aplicação desse conceito faz uso das condicionantes locais do ambiente (relevo, clima, vegetação natural, direção dos ventos predominantes, insolação), bem como com a elementos de design e arquitetura, criando um ambiente confortável termicamente sem o emprego de energia para condicionadores de ar (ZAMBRANO *et al.*, 2020).

Nesse sentido a arquitetura bioclimática usa de estratégias passivas para alcançar seu objetivo, são elas:

3.1.1 Radiação solar

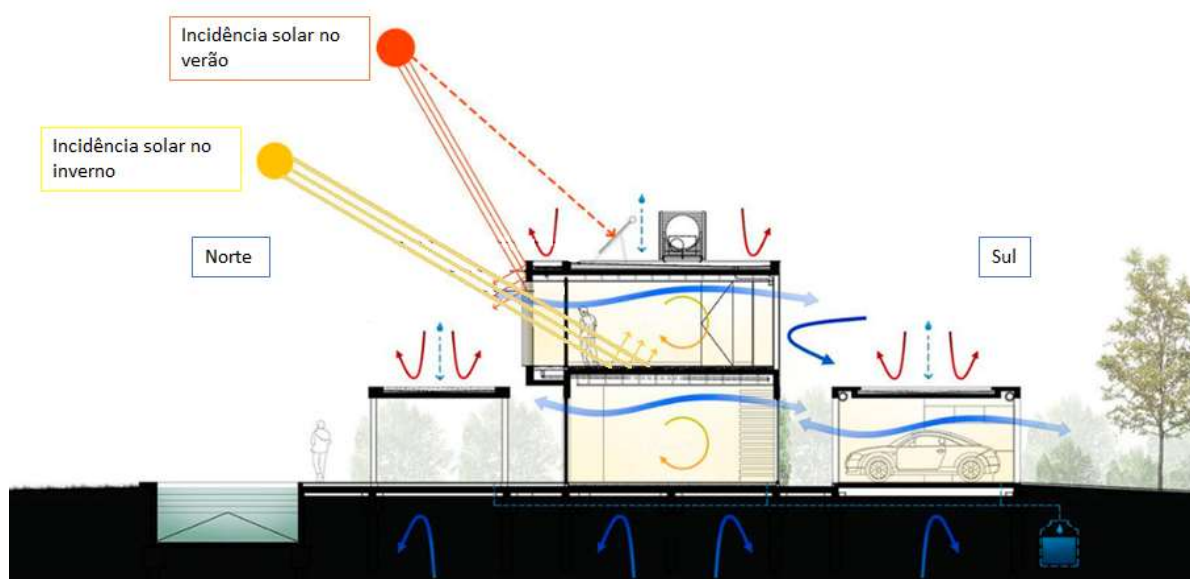
A locação da construção dentro do terreno tem importância crucial no contexto da arquitetura bioclimática. A orientação do projeto deve estar em harmonia com a trajetória solar, priorizando o aproveitamento do calor no inverno (incidência direta) e luz natural no verão (incidência difusa) (FROTA *et al.*, 2001; MENJÍVAR, 2013; RUIZ, 2018; LAMBERTS *et al.*, 2014).

Algumas recomendações podem ser adotadas para países situados no hemisfério sul. Devido os movimentos de rotação e translação da Terra, é aconselhável posicionar a maior

fachada para o norte, de modo a maximizar a radiação solar durante o inverno – época de clima frio. Além disso, sugere-se que cômodos mais privados, como os quartos, fiquem direcionados para essa face. Já ambientes mais úmidos e que necessitam de calor durante a noite o ideal é serem voltados para a fachada oeste.

Na Figura 3.1.1 pode-se observar o corte de uma residência situada em Buenos Aires. Nota-se que durante o inverno há incidência direta do sol dentro dos ambientes. Já no verão destaca a ênfase na utilização das placas solares para geração de energia.

Figura 3.1.1 – Incidência solar das estações de verão e inverno em uma residência em Buenos Aires



Fonte: Adaptado de Archdaily (2021).

Para facilitar o posicionamento da construção e otimizar a incidência solar nas estações apropriada é indicado fazer uso das cartas solares – representação gráfica dos percursos aparentes do sol na abóbada celeste ao longo do dia em diferentes épocas do ano (LAMBERTS *et al.*, 2014).

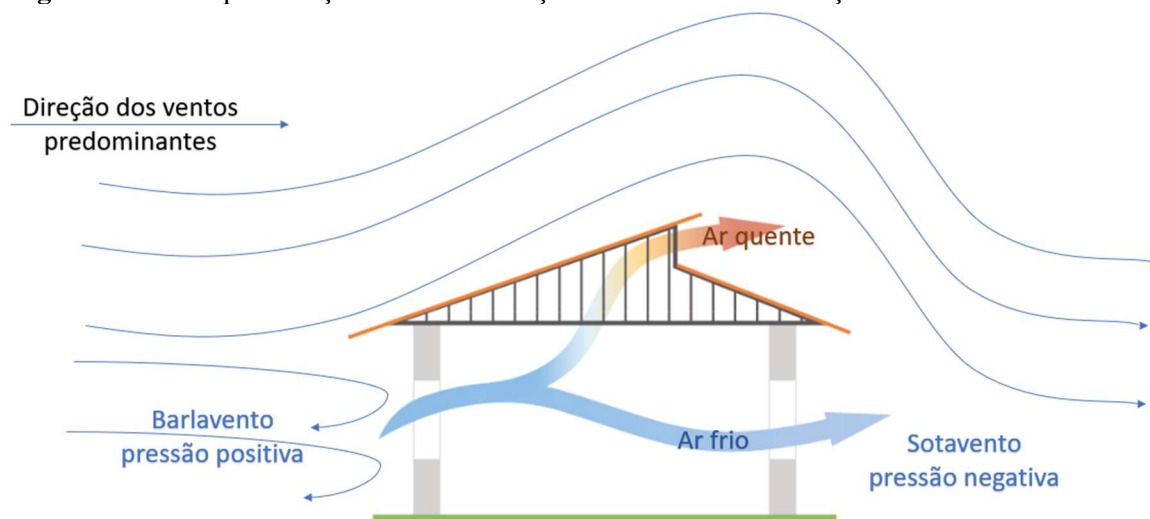
3.1.2 Ventilação

A ventilação possui três funções básicas dentro da arquitetura bioclimática: a renovação do ar, climatização ou arrefecimento do ambiente e o resfriamento direto das pessoas. Além disso, também colabora para o controle da umidade do ambiente. Por conseguinte, o bom uso do movimento do ar pode evitar ou minimizar o uso de sistemas de condicionadores de ar.

Portanto, conhecer a intensidade, frequência e direção dominante que exerce sobre as fachadas é fundamental (FROTA *et al.*, 2001; LAGO, 2015; SALVADOR, 2017).

O movimento do ar dá-se pela diferença de pressão, consequência do próprio vento ou da diferença de temperaturas, Figura 3.1.2. Dessa maneira, o posicionamento estratégico das aberturas de entrada de ar e das aberturas de saída do ar são essenciais.

Figura 3.1.2 – Representação da movimentação do ar em uma edificação considerando as aberturas

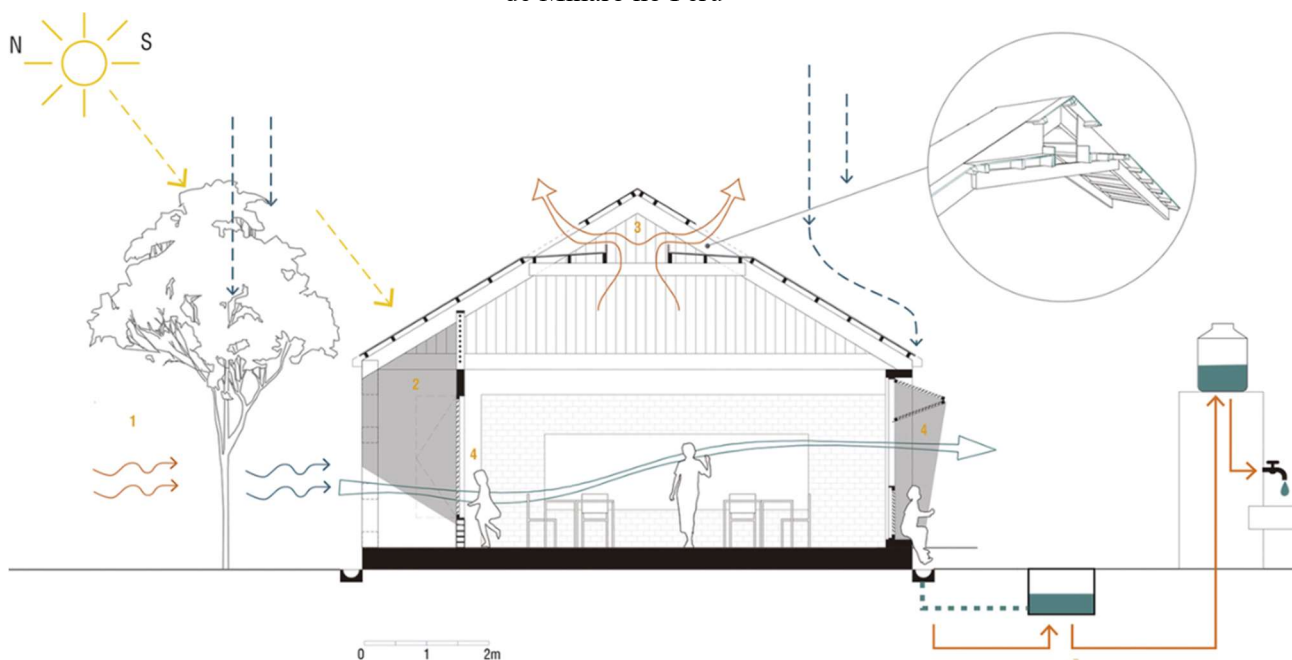


Fonte: Adaptado de Tecvent (2022).

Na Figura 3.1.3 pode-se observar o movimento do ar, proporcionando a renovação de ar, levando umidade da vegetação externa e refrescando o ambiente.

A ventilação horizontal ou ventilação cruzada, observada na Figura 3.1.3 – Ventilação horizontal e ventilação cruzada em uma escola na comunidade de Jerusalén de Miñaró no Perugura 3.1.3 é consequência da diferença de pressão do ambiente externo e a ambiente interno, facilitada pela entrada dos ventos em janelas e portas – seta 4; já a seta 3 mostra o efeito chaminé – movimento do ar devido a diferença da densidade do ar.

Figura 3.1.3 – Ventilação horizontal e ventilação cruzada em uma escola na comunidade de Jerusalén de Miñaró no Peru



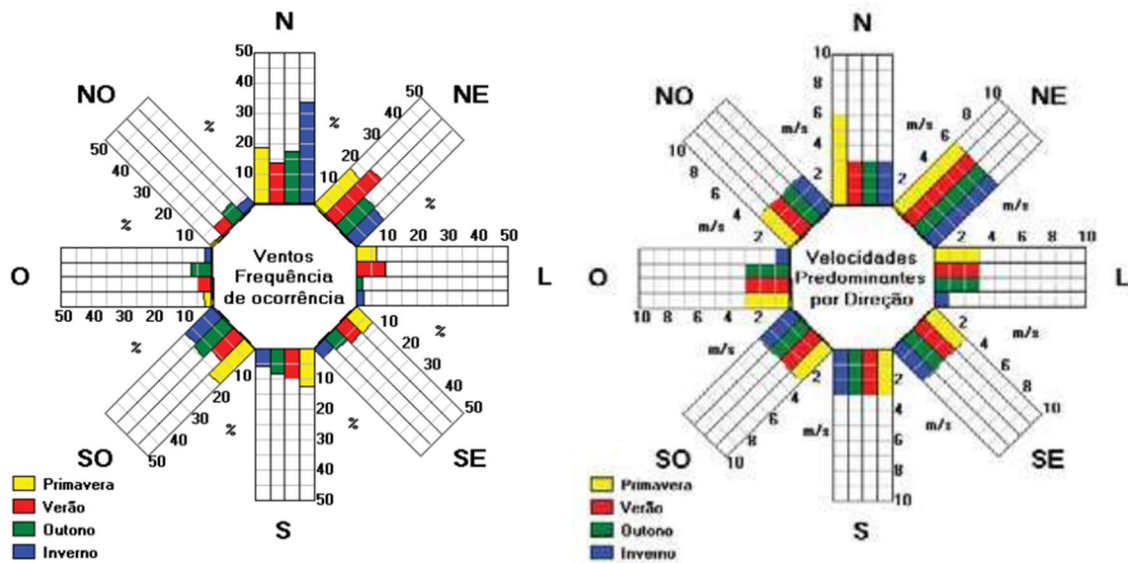
Fonte: Fonte: Archdaily (2021).

Sendo assim, para auxiliar o desenvolvimento do projeto e posicionamento das aberturas o ideal é a rosa-dos-ventos predominantes. Por meio dela é possível verificar a probabilidade e velocidade dos ventos nas diferentes estações climáticas (LAMBERTS *et al.*, 2014).

Na Figura 3.1.4 pode-se analisar, através dos dados fornecidos pelo software *Analysis SOL-AR*, que na cidade de Florianópolis a direção predominante dos ventos de inverno é a Norte e para o verão, Nordeste; também se tem as maiores velocidades no Nordeste. Desta maneira, a locação de aberturas para a face norte propiciaria melhor ventilação natural no inverno, para essa estação climática a necessidade de aquecimento é superior à de resfriamento, diferentemente do verão, quando a situação é inversa. Sendo assim, a melhor locação para as aberturas é nordeste.

Outro ponto importante a destacar, o movimento do ar sofre grandes influências da rugosidade da superfície. Por exemplo, a velocidade do ar em campo aberto é maior que em uma metrópole, mesmo admitindo igual todas as outras condições, haja visto que na cidade a presença de muitas construções – obstáculos – interfere no movimento do ar (LAMBERTS *et al.*, 2014).

Figura 3.1.4 – Rosa dos ventos da cidade de Florianópolis, extraída do programa Analysis SOL-AR



Fonte: Lamberts *et al.* (2014).

3.1.3 Inércia térmica

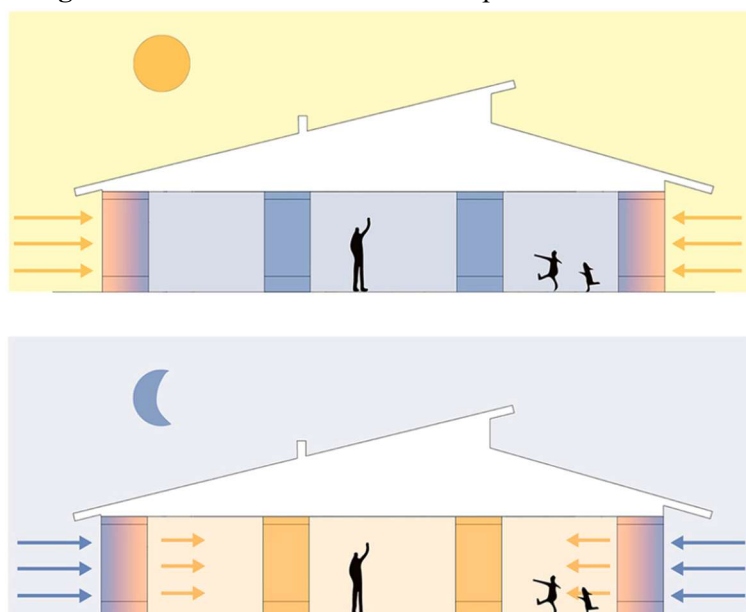
A inércia térmica está relacionada com a capacidade do envelope do edifício em armazenar e liberar calor. Essa propriedade pode ser utilizada com o objetivo de reduzir a variação da temperatura interna de um ambiente, por meio da absorção do calor do ambiente externo durante o dia e da liberação desse durante a noite, consequentemente, diminui os picos e as flutuações de temperatura ao longo do dia (FROTA *et al.*, 2001; LAMBERTS *et al.*, 2014; CARVALHO, 2018).

Dessa maneira, um envelope com baixa inércia térmica é sensível às variações de temperatura do ambiente externo; no entanto, um com alta inércia térmica torna a temperatura interna menos influenciada pelas condicionantes externas. Ademais, a inércia térmica pode ser empregada para estratégias de resfriamento ou para o aquecimento (CARVALHO, 2018).

Consequentemente, a escolha dos materiais do envelope bem como as suas espessuras são de extrema importância para alcançar o conforto térmico do ambiente interno.

Na Figura 3.1.5, é perceptível a aplicação da inércia térmica: ao longo do dia, o envelope da edificação absorve calor, mas não o transmite ao interior, mantendo assim uma temperatura interna mais fresca. Durante a noite, porém, o envelope libera o calor armazenado durante o dia, aquecendo o ambiente interno, enquanto esfria a superfície externa.

Figura 3.1.5 – Inércia térmica: envelope do edifício



Fonte: Archdaily (2021).

3.1.4 Aplicação das estratégias bioclimáticas

A implementação de estratégias sustentáveis bioclimáticas passivas para o conforto térmico requer o equilíbrio entre fatores interdependentes, tais como a seleção de materiais, estratégias de sombreamento, orientação da construção e design arquitetônico apropriado, entre outros elementos.

Um estudo conduzido por Kini *et al.* (2022) simulou os potenciais benefícios derivados da aplicação de estratégias bioclimáticas no último andar de um edifício comercial localizado na cidade de Manipal, na costa de Karnataka, Índia. Os pesquisadores quantificaram o desconforto térmico considerando a temperatura operativa e as propriedades do envelope do edifício antes e após a implementação dessas estratégias. Em consonância com as características locais, foram adotadas medidas como ventilação natural, dispositivos de sombreamento para janelas e isolamento do telhado (alteração dos materiais com base em propriedades termofísicas), como modificações em relação ao objeto de estudo original.

Conforme indicado pela pesquisa de Kini *et al.* (2022), as modificações propostas resultaram em uma melhoria de 5,82 °C nas condições térmicas internas e uma redução da carga de resfriamento para 19,25% em comparação com o envelope de referência do edifício. Além disso, as opções passivas apresentaram uma diminuição de 80,75% no desconforto térmico e reduziu o número de horas anuais de desconforto para apenas 13,3% das horas ocupadas. Adicionalmente, aos benefícios constatados observou-se uma economia anual de 77% na

energia de resfriamento ao longo do ano em comparação com o envelope do edifício de referência.

Outro estudo, realizado no Malawi em edifícios residências urbanos por Kalua (2016), analisou os impactos das alterações no envelope das construções. Neste caso as estratégias bioclimáticas avaliadas foram a espessura do piso, a resistência térmica da parede e do telhado, o isolamento nos vidros, a taxa de ventilação, a proporção de transparência das paredes e o uso de beiral nas janelas.

Diante disso, o pesquisador concluiu que um envelope ideal do edifício proporciona um desempenho térmico significativamente superior em comparação com o envelope típico atual de edifícios residenciais, resultando em uma redução de até 18% nas horas de desconforto.

No entanto, ambas as pesquisas se basearam no uso do software *EnergyPlus* para simular as características bioclimáticas de edificações já projetadas, não contribuindo para as decisões de design na fase de pré-projeto, na qual as adaptações no envelope das construções são mais facilmente implementadas.

4 NBR: 15220: DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES

A compreensão das condicionantes locais juntamente com o conhecimento das propriedades termo físicas dos materiais empregados no envelope do edifício corrobora para o êxito das estratégias bioclimáticas passivas voltadas para o conforto térmico. Essas estratégias causam impacto positivo no aumento do desempenho térmico e energético da edificação.

A análise do desempenho térmico de uma construção pode ser realizada tanto na fase de projeto ou após a conclusão da obra. Durante a fase de projeto, a análise do desempenho térmico pode ser realizada por meio de simulações computacionais ou através de recomendações vigentes, como as apresentadas na NBR 15220 (ABNT, 2023). Uma vez que a edificação está concluída, a avaliação é realizada mediante medições *in loco*. No entanto, caso o desempenho térmico não atinja os níveis adequados, a aplicação das estratégias bioclimáticas passivas tornam-se mais complexas e onerosas quando comparada a fase de projetos.

Por conseguinte, a NBR 15220 apresenta orientações para o desempenho térmico de habitações unifamiliares de interesse social as quais podem ser utilizadas na etapa de projeto. Conjuntamente, estabelece o zoneamento bioclimático brasileiro, oferecendo diretrizes construtivas e detalhando estratégias de condicionamento térmico passivo, respaldados em parâmetros e condições predefinidos de cada zona (ABNT, 2005). Sendo assim, para cada zona bioclimática estabelecida são recomendadas técnicas construtivas para o alcance do conforto térmico; como por exemplo necessidade de sombreamento, tamanho das aberturas, inércia das vedações, dentre outras.

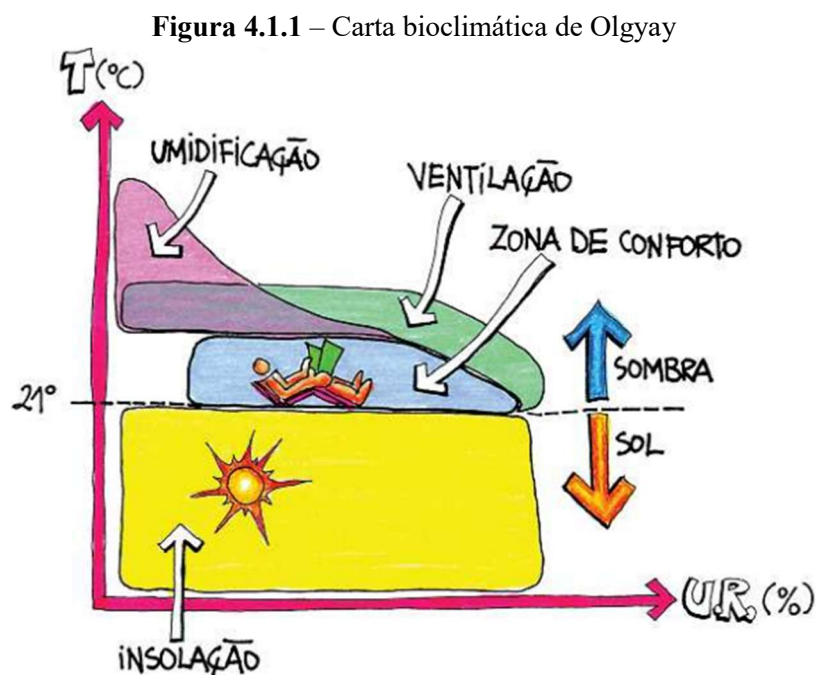
A norma está estruturada em cinco partes, sendo elas:

- NBR:15220/1 – Desempenho térmico de edificações Parte 1: Definições, símbolos e unidades, de 2005, dedicada a definições, símbolos e unidades cruciais para a compreensão das demais seções;
- NBR:15220/2 – Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações, de 2023, descreve os procedimentos de cálculo;
- NBR:15220/3 – Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social, de 2005, estabelece o zoneamento bioclimático brasileiro e apresenta as técnicas construtivas de cada um;

- NBR:15220/4 – Desempenho térmico de edificações Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida, de 2005, descreve o método para a determinação da resistência e da condutividade térmicas de materiais sólidos ou granulares, além de diretrizes de projetos, dimensões mínimas e tolerâncias; e
- NBR:15220/5 – Desempenho térmico de edificações Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico, de 2005, descreve o método de medição da condutividade térmica por meio de fluxímetro.

4.1 Zoneamento bioclimático brasileiro

A arquitetura bioclimática procura, por intermédio de suas estruturas, usufruir ao máximo das condicionantes locais, buscando priorizar o uso dos elementos naturais para o conforto térmico em detrimento do uso de energia. Para tanto, Olgyay propôs estratégias de adaptação da edificação ao clima externo, carta bioclimática de Olgyay (LAMBERTS *et al.*, 2014).



Fonte: Lamberts *et al.* (2014).

Na Figura 4.1.1 observa-se o diagrama de Olgay, um gráfico de temperatura x umidade relativa do ar. No centro situa-se a zona de conforto, ao redor as medidas que devem ser adotadas para propiciar a sensação de conforto ao usuário. Dessa maneira, caso uma edificação encontre-se na zona verde (ventilação) torna-se necessário aumentar a ventilação da construção para assim, atingir o conforto térmico (zona azul).

Givoni (1992) propôs uma revisão da carta bioclimática de Olgay usando a carta psicrométrica. O autor defende que o conforto térmico das edificações depende tanto do clima externo quanto da experiência de uso dos habitantes. Sendo assim, Givoni estabeleceu uma carta bioclimática adaptada a países em desenvolvimento (LAMBERTS *et al.*, 2014).

Respaldados nos conceitos de Givoni, a NBR 15220 obteve a carta bioclimática adaptada para o Brasil, Figura 4.1.2, sendo essa adotada para a escolha das estratégias construtivas para cada zona. Essas diretrizes construtivas respaldam nas características do envelope, sendo assim, são recomendados tamanho das aberturas para ventilação, proteção das aberturas, vedações externas, e estratégias de condicionamento térmico passivo (ABNT, 2005).

Figura 4.1.2 – Carta bioclimática adaptada e adotada pelo Brasil

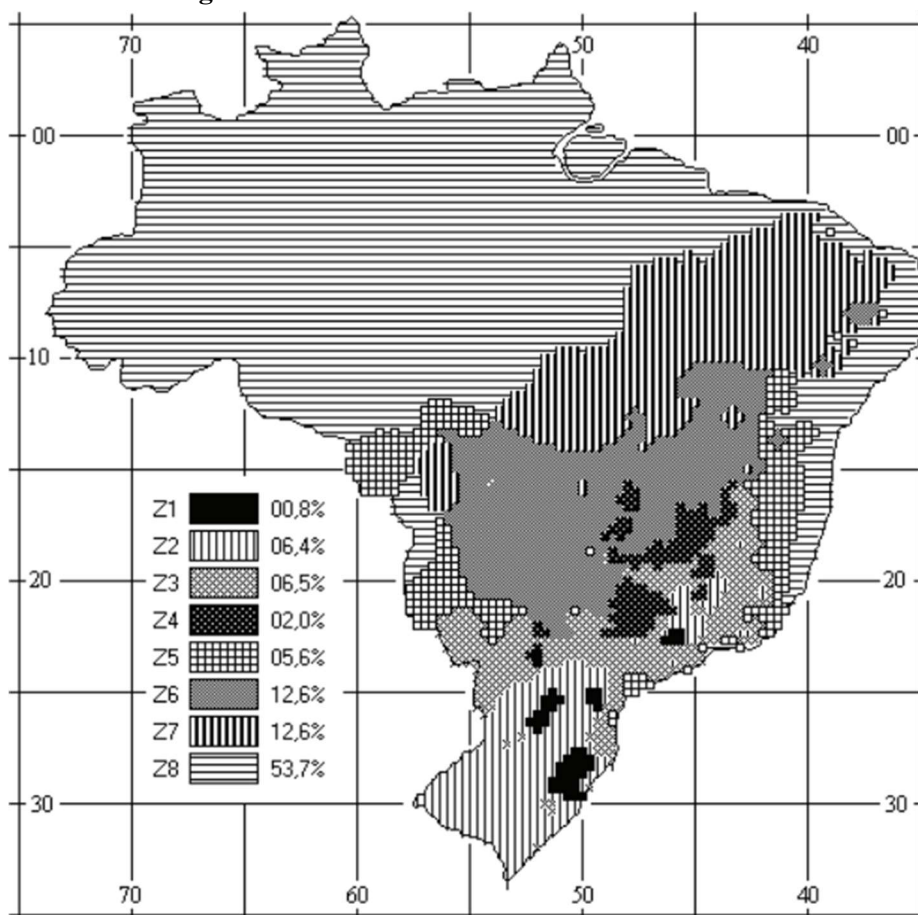


Fonte: Lamberts *et al.* (2014).

O zoneamento bioclimático brasileiro, Figura 4.1.3, divide o país em oito diferentes zonas, e foi estabelecido com os dados climáticos de 330 cidades. Essas zonas estão diretamente ligadas às características climáticas das diferentes regiões do território brasileiro, não necessariamente seguindo aos limites do mapeamento político, divisão estadual ou regional econômica. Por meio desses estudos e do zoneamento bioclimático, é possível identificar o clima de cada cidade e associá-lo por meio de tabelas que apontam as estratégias e diretrizes

construtivas bioclimáticas recomendadas para cada local onde uma edificação será planejada e construída (ABNT, 2005).

Figura 4.1.3 – Zoneamento bioclimático brasileiro



Fonte: ABNT (2005).

4.1.1 Zona 1

As cidades da Zona 1, Figura 4.1.4, estão localizadas no sul do país, onde o clima é predominantemente frio. Representa a menor parcela do zoneamento, apenas 0,8%, abrangendo 12 cidades, dentre essas, Curitiba, Caxias do Sul e Bom Jesus.

As recomendações construtivas para essa zona são aberturas para ventilação com tamanho médio e que permitam sol durante o período de frio (inverno), as paredes externas devem ser leves e as coberturas leves isoladas. As estratégias de condicionamento térmico passivo são recomendadas apenas para o inverno, aquecimento solar da edificação e vedações internas pesadas.

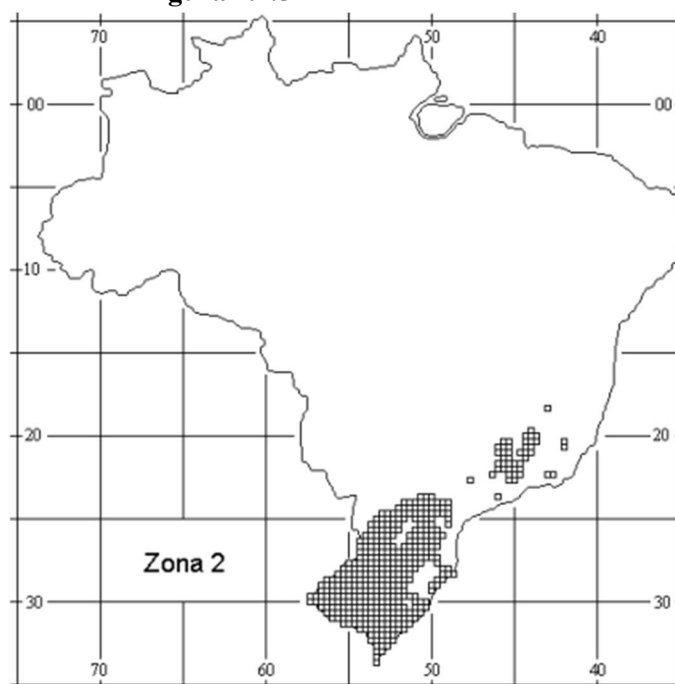
Figura 4.1.4 – Zona bioclimática 1

Fonte: ABNT (2005).

4.1.2 Zona 2

As cidades da Zona 2, Figura 4.1.5, estão localizadas no sul e sudeste do país, onde o clima também é predominantemente frio. Representa 6,4 % do zoneamento brasileiro, abrangendo 33 cidades, dentre essas, Ponta Grossa, Pelotas e Piracicaba.

As recomendações construtivas para essa zona são aberturas para ventilação com tamanho médio e que permitam sol durante o período de frio (inverno), as paredes externas devem ser leves e as coberturas leves isoladas. As estratégias de condicionamento térmico passivo para o verão é a ventilação cruzada e, para o inverno, aquecimento solar da edificação e vedações internas pesadas.

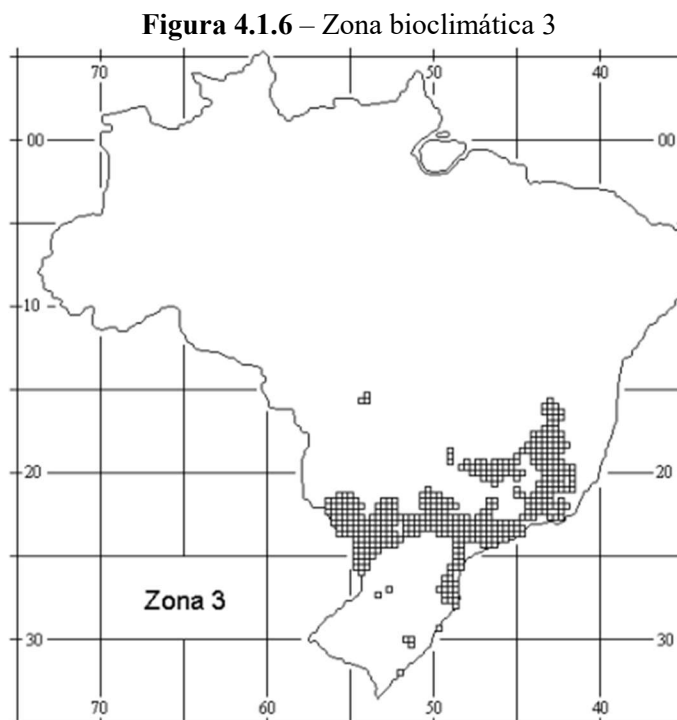
Figura 4.1.5 – Zona bioclimática 2

Fonte: ABNT (2005).

4.1.3 Zona 3

As cidades da Zona 3, Figura 4.1.6, estão localizadas, principalmente, no sul e sudeste do país, onde o clima é ameno. Representa 6,5 % do zoneamento brasileiro, abrangendo 62 cidades, dentre essas, Florianópolis, Porto Alegre e Belo horizonte.

As recomendações construtivas para essa zona são aberturas para ventilação com tamanho médio e que permitam sol durante o período de frio (inverno), as paredes externas devem ser leves refletoras e as coberturas leves isoladas. As estratégias de condicionamento térmico passivo para o verão é a ventilação cruzada e, para o inverno, aquecimento solar da edificação e vedações internas pesadas.

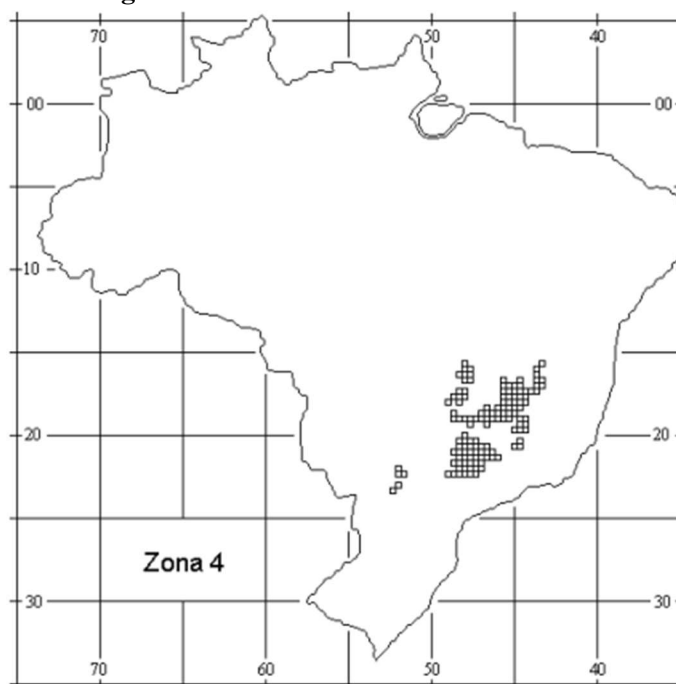


Fonte: ABNT (2005).

4.1.4 Zona 4

As cidades da Zona 4, Figura 4.1.7, estão localizadas, grande parte, no sudeste e centro-oeste do país, onde o clima é quente. Representa 2,0 % do zoneamento brasileiro, abrangendo, apenas, 17 cidades, dentre essas, Brasília, Ribeirão Preto e Franca.

As recomendações construtivas para essa zona são aberturas para ventilação com tamanho médio e sombreadas, as paredes externas devem ser pesadas e as coberturas leves isoladas. As estratégias de condicionamento térmico passivo para o verão são o resfriamento evaporativo e massa térmica para resfriamento e ventilação seletiva e, para o inverno, aquecimento solar da edificação e vedações internas pesadas.

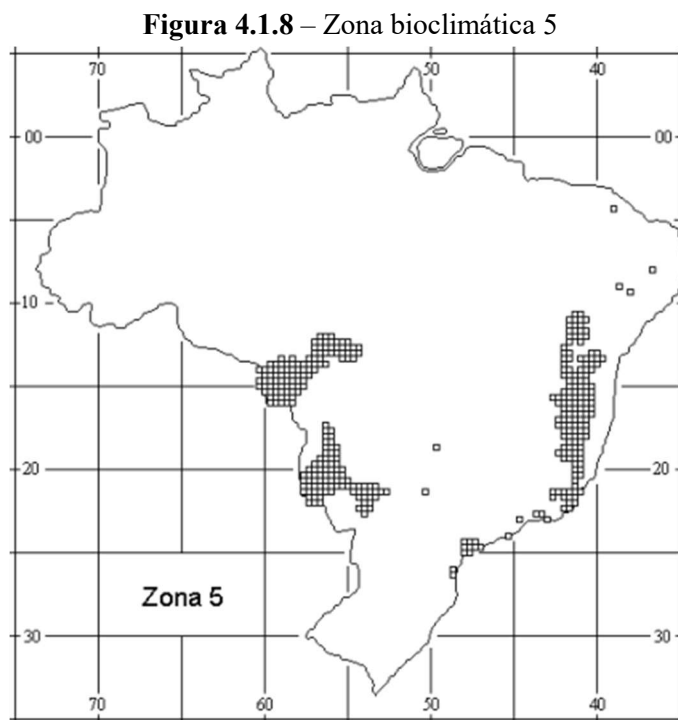
Figura 4.1.7 – Zona bioclimática 4

Fonte: ABNT (2005).

4.1.5 Zona 5

As cidades da Zona 5, Figura 4.1.8, estão distribuídas pelo território nacional, grande parte, no sudeste, centro-oeste e nordeste do país, onde o clima é quente. Representa 5,6 % do zoneamento brasileiro, abrangendo, 30 cidades, dentre essas, Santos, Niterói e Teófilo Otoni.

As recomendações construtivas para essa zona são aberturas para ventilação com tamanho médio e sombreadas, as paredes externas devem ser leves refletoras e as coberturas leves isoladas. As estratégias de condicionamento térmico passivo para o verão é ventilação cruzada e, para o inverno, vedações internas pesadas.



Fonte: ABNT (2005).

4.1.6 Zona 6

As cidades da Zona 6, Figura 4.1.9, situam-se, principalmente, no centro-oeste do país, onde o clima é quente. Representa 12,6 % do zoneamento brasileiro, abrangendo, 38 cidades, dentre essas, Goiânia, Catalão e Campo Grande.

As recomendações construtivas para essa zona são aberturas para ventilação com tamanho médio e sombreadas, as paredes externas devem ser pesadas e as coberturas leves isoladas. As estratégias de condicionamento térmico passivo para o verão são o resfriamento evaporativo e massa térmica para resfriamento e ventilação seletiva e, para o inverno, vedações internas pesadas.

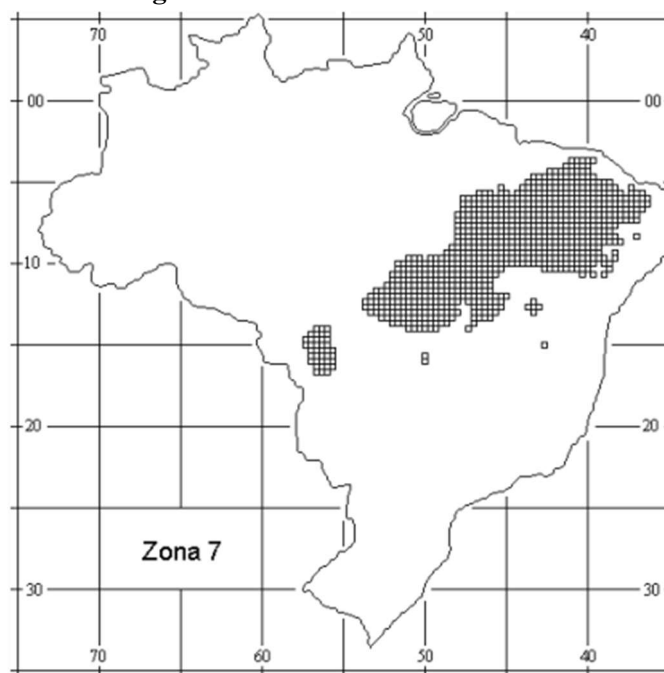
Figura 4.1.9 – Zona bioclimática 6

Fonte: ABNT (2005).

4.1.7 Zona 7

As cidades da Zona 7, Figura 4.1.10, situam-se, em sua maioria, no centro-oeste e nordeste do país, onde o clima é quente. Representa 12,6 % do zoneamento brasileiro, abrangendo, 39 cidades, dentre essas, Picos, Cuiabá e Teresina.

As recomendações construtivas para essa zona são aberturas para ventilação com tamanho pequeno e sombreadas, as paredes externas devem ser pesadas e as coberturas pesadas. As estratégias de condicionamento térmico passivo são somente para o verão, resfriamento evaporativo e massa térmica para resfriamento e ventilação seletiva.

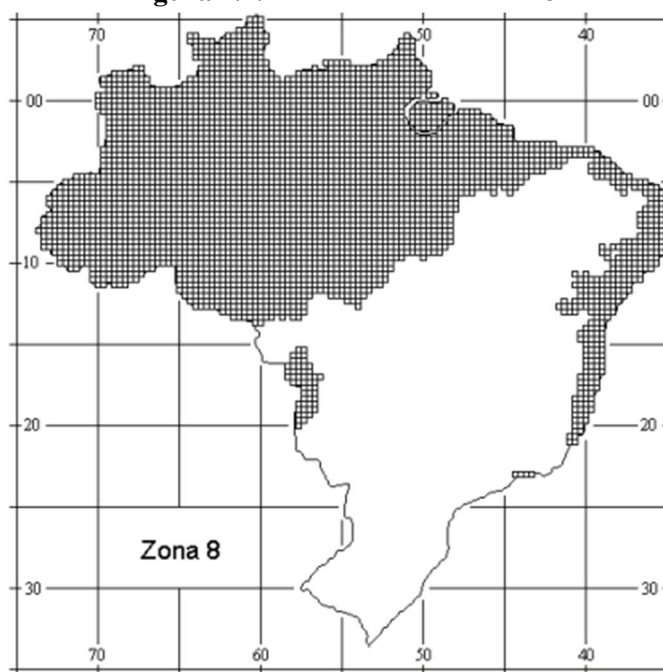
Figura 4.1.10 – Zona bioclimática 7

Fonte: ABNT (2005).

4.1.8 Zona 8

As cidades da Zona 8, Figura 4.1.11, situam-se, grande parte, no norte do país, onde o clima é quente. Sendo a maior zona bioclimática, representa 53,7 % do zoneamento brasileiro, abrangendo, 99 cidades, dentre essas, Belém, Manaus e Natal.

As recomendações construtivas para essa zona são aberturas para ventilação com tamanho grande e sombreadas, as paredes externas e as coberturas devem ser leves refletoras. As estratégias de condicionamento térmico passivo é apenas ventilação cruzada permanente.

Figura 4.1.11 – Zona bioclimática 8

Fonte: ABNT (2005).

4.2 Métodos de cálculos

A norma NBR 15220-2 (ABNT, 2023) está incluída nas regulamentações estabelecidas para a avaliação do desempenho energético das edificações. Dessa forma, ela oferece métodos de cálculo para a transmitância térmica de paredes e coberturas, possibilitando a comparação entre diferentes sistemas construtivos.

4.2.1 Transmitância térmica

A transmitância térmica é definida na NBR 15220/1 (ABNT, 2005) como sendo o inverso da resistência térmica total. Simplificadamente, pode ser entendida como sendo o quanto o componente é capaz de conduzir o calor de uma face a outra da parede. Essa característica é medida em $W/(m^2.K)$ e calculada em função das propriedades térmicas, composição e geometria dos elementos (ABNT, 2023).

Desta maneira, para mensurar a transmitância térmica de um componente faz-se uso da Equação 4.1.

$$U = \frac{1}{R_T} \quad \text{Equação 4.1}$$

em que

U é transmitância térmica de um componente ($W / (m^2.K)$);

R_T é resistência térmica de ambiente a ambiente ($(m^2.K) / W$).

Analisando a Equação 4.1 é possível inferir que quanto maior for a transmitância térmica, maior é a capacidade de condução do calor de face para face e menor é a resistência térmica total do componente; o contrário também é válido, ou seja, quando menor for a transmitância térmica, menor é a capacidade de condução do calor de face para face e maior é a resistência térmica total do componente.

4.2.2 Atraso térmico

A NBR 15220/1 (ABNT, 2005) conceitua atraso térmico como sendo o intervalo de tempo decorrido entre uma mudança de temperatura em um meio e a sua manifestação na face oposta de um elemento construtivo submetido a um padrão periódico de transmissão de calor medido em horas.

Sabe-se que os componentes são formados por diferentes materiais superpostos em camadas paralelas às faces, ou seja, um elemento heterogêneo. Sendo assim, a NBR15220-2 (2005) emprega à Equação 4.2 para cálculo do atraso térmico.

$$\varphi = 1,382 \cdot R_t \cdot \sqrt{B_1 + B_2} \quad \text{Equação 4.2}$$

em que

φ é o atraso térmico (horas);

R_t é resistência térmica de superfície a superfície de um componente ($(m^2.K) / W$).

Os valores de B_1 e B_2 são obtidos mediante as Equação 4.3 e Equação 4.4.

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{B_0}{R_t} \quad \text{Equação 4.3}$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left(\frac{(\lambda \cdot \rho \cdot c)_{ext}}{R_t} \right) \cdot \left(R_{ext} - \frac{R_t - R_{ext}}{10} \right) \quad \text{Equação 4.4}$$

$$B_0 = C_T - C_{Text} \quad \text{Equação 4.5}$$

em que

C_T é a capacidade térmica total do componente (J/K);

C_{Text} é a capacidade térmica da camada externa do componente (J/K);

λ é a condutividade térmica do material (W/(m.K));

ρ é a densidade de massa aparente do material (kg/m³);

c calor específico (kJ/(kg.K)).

4.2.3 Fator de ganho de calor solar de elementos opacos

Fator de ganho de calor solar de elementos opacos pode ser definido, segundo NBR 15220/1 (ABNT, 2005), como sendo a relação entre a taxa de radiação solar que passa por um componente opaco e a taxa total de radiação solar que incide na superfície externa desse componente, sendo uma característica mensurada em porcentagem.

Para o cálculo do fator de ganho de calor solar de elementos opacos a NBR15220-2 (2005) apresenta a Equação 4.6:

$$FS_0 = 4. U. \alpha \quad \text{Equação 4.6}$$

em que

FS_0 é o fator solar de elementos opacos em porcentagem;

U é transmitância térmica de um componente (W/ (m².K));

α é a absorptância à radiação solar

5 NBR 15575: EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS — DESEMPENHO

A NBR 15575: Edificações Residenciais - Desempenho (ABNT, 2021), estipula exigências de desempenho para cada sistema habitacional, categorizando-os em sistemas estruturais, de piso, de vedação vertical interna e externa, de cobertura e hidrossanitários. Para tanto, a norma é dividida em seis partes, sendo elas:

- NBR:15575/1 – Edificações Residenciais - Desempenho Parte 1: Requisitos gerais, de 2024, define requisitos e critérios de desempenho aplicáveis em edificações habitacionais como um sistema integrado, além de possibilitar a avaliação isolada para um ou mais sistemas específicos;
- NBR:15575/2 – Edificações Residenciais - Desempenho Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais, de 2013, define requisitos e critérios de desempenho exclusivos para o sistema estrutural da construção habitacional;
- NBR:15575/3 – Edificações Residenciais - Desempenho Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos internos, de 2021, define requisitos e critérios de desempenho para pisos internos de um edifício residencial de até cinco pavimentos;
- NBR:15575/4 – Edificações Residenciais - Desempenho Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE, de 2021, define requisitos, critérios e métodos de avaliação do desempenho de sistemas de vedações verticais internas e externas (SVVIE) de edificações habitacionais ou de seus elementos;
- NBR:15575/5 – Edificações Residenciais - Desempenho Parte 5: Requisitos para os sistemas de cobertura, de 2021, descreve o processo de avaliação do desempenho térmico de coberturas, por meio do procedimento simplificado;
- NBR:15575/6 – Edificações Residenciais - Desempenho Parte 6: Requisitos para os sistemas hidrossanitários, de 2021, define requisitos e de desempenho para sistemas hidrossanitários de edificações habitacionais.

No tocante a desempenho térmico a NBR:15575/4 (ABNT, 2021) estabelece procedimento simplificado para verificação de desempenho mínimo obrigatório dos sistemas de vedações verticais externas (SVVE). Tal avaliação deve ser realizada para ambientes de permanência prolongada das unidades habitacionais.

Para tanto, o SVVE deve atender os critérios mínimos de transmitância térmica, capacidade térmica, percentual de abertura para ventilação, porcentagem de elementos transparentes ou área superficial de elementos transparentes estabelecidos na norma regulamentadora. Sendo assim, seguindo a divisão das zonas bioclimáticas, as paredes externas dos ambientes de permanência prolongada, devem estar em concordância com a Tabela 5.1, Tabela 5.2, Tabela 5.3 e Tabela 5.4 .

Tabela 5.1 – Transmitância térmica de referência para paredes externas

Zonas bioclimáticas 1 e 2	Zonas bioclimáticas 3 a 8	
$U \leq 2,7$	$\alpha \leq 0,6$	$\alpha > 0,6$
	$U \leq 3,7$	$U \leq 2,5$

Fonte: ABNT (2021).

Tabela 5.2 – Capacidade térmica de referência para paredes externas

Zonas bioclimáticas 1 a 7	Zonas bioclimáticas 8
$C_T \geq 130$	Sem requisitos

Fonte: ABNT (2021).

Tabela 5.3 – Percentual de abertura de referência para ventilação

Zonas bioclimáticas 1 e 7	Zonas bioclimáticas 8 – Região Norte do Brasil	Zonas bioclimáticas 8 – Região Nordeste e Sudeste do Brasil
$P_v \geq 7,0\%$ da área de piso	$P_v \geq 12,0\%$ da área de piso	$P_v \geq 8,0\%$ da área de piso

Fonte: ABNT (2021).

Tabela 5.4 – Proporção de referência dos elementos transparentes

Zonas bioclimáticas 1 e 2	Zonas bioclimáticas 3 a 8
$A_p \leq 20,00 m^2$	$A_p > 20,00 m^2$
$P_p \leq 20\%$	$A_t \leq 4,00 m^2$

Fonte: ABNT (2021).

Os valores de transmitância térmica das paredes externas devem ser obtidos mediante procedimentos de cálculo estabelecidos na NBR:15220/2 (discriminado no item anterior).

Agora a capacidade térmica tem o cálculo descrito no Anexo Nacional A, conforme equação 5.1.

$$C_T = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{c_{Ta}} + \frac{A_b}{c_{Tb}} + \dots + \frac{A_n}{c_{Tn}}} \quad \text{Equação 5.1}$$

em que:

C_{Tn} é a capacidade térmica do componente da seção n, determinada na $C = \sum_{j=1}^n e_j \cdot c_j \cdot \rho_j$

Equação 5.2, (kJ/ (m².K));

A_n é a área da seção n (m²).

$$C = \sum_{j=1}^n e_j \cdot c_j \cdot \rho_j \quad \text{Equação 5.2}$$

em que:

e_j é a espessura da camada j, (m²);

c_j é a calor específico do material da camada j, (kJ/ (m².K));

ρ_j é a densidade de massa aparente do material da camada j, (kg/m³).

Já o percentual de abertura para ventilação pode ser obtido pela Equação 5.3

$$P_v = 100 \cdot \frac{A_v}{A_p} \quad \text{Equação 5.3}$$

em que

P_v é o percentual de abertura para ventilação (%);

A_v é a área de ventilação (m²);

A_p é a área de piso (m²).

6 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido em três etapas. A primeira trata-se do conhecimento do estado da arte referente a conforto térmico e suas influências; a segunda, a compreensão dos cálculos da NBR 15220/2 (ABNT, 2023) e NBR 15575/4 (ABNT, 2021) e a estruturação da planilha em *Excel* e; a terceira, validação e divulgação da planilha de cálculo.

6.1 Primeira etapa – Estado da arte

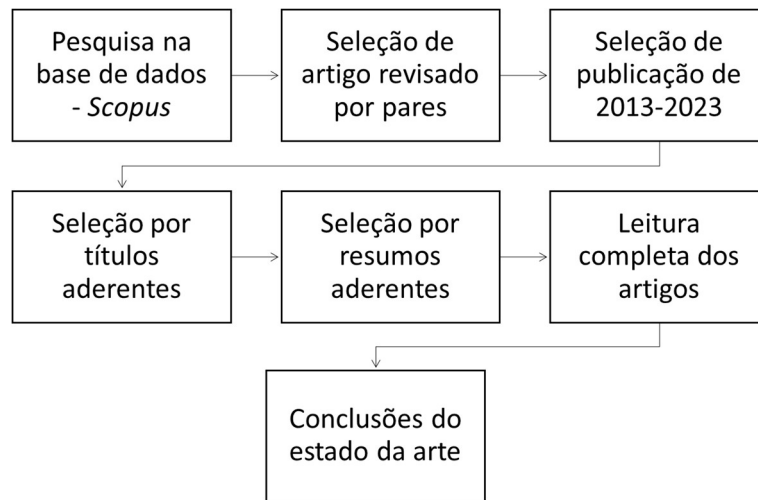
Para iniciar a primeira fase, foi conduzida uma pesquisa sistemática, a qual busca de maneira organizada e precisa, selecionar os conteúdos presentes nas bases de dados, mediante o uso operadores lógicos – *strings*. Essa abordagem foi adotada devido à grande quantidade de pesquisas publicadas.

Sendo assim, na base de dados *Scopus*, adotou-se 5 pares de *strings*, visando abranger pesquisas que vem ao encontro do objetivo, são eles:

- 1° *string* - "*thermal comfort*" and "*thermal load*";
- 2° *string* - "*model predictive control*" and "*thermal comfort*";
- 3° *string* - "*bioclimatic analysis*" and "*thermal comfort*";
- 4° *string* - "*building envelope*" and "*thermal comfort*"; e
- 5° *string* - "*construction materials*" and "*thermal comfort*".

Posteriormente, foram selecionados artigos revisados por pares publicados entre 2013-2023, em seguida, separou os artigos com títulos aderentes a pesquisa e, após, com resumos condizentes com o tema estudado. Posteriormente, foi realizada a leitura completa dos artigos e feito um compilado das principais conclusões. A Figura 6.1.1 esquematiza a metodologia de pesquisa empregada.

Figura 6.1.1 – Metodologia da pesquisa sistêmica realizada



Fonte: Autoria própria.

6.2 Segunda etapa – Levantamento de requisitos do sistema

Na segunda etapa foi realizada a estruturação base do *software* no Excel. Dessa maneira, definiu as bases de entrada do usuário e as respostas da planilha.

Em seguida, estabeleceu-se os parâmetros normativos utilizados para definir se o sistema de vedação está ou não em conformidade com as NBR 15220/3 e NBR 15575/4, Quadro 6.2.1.

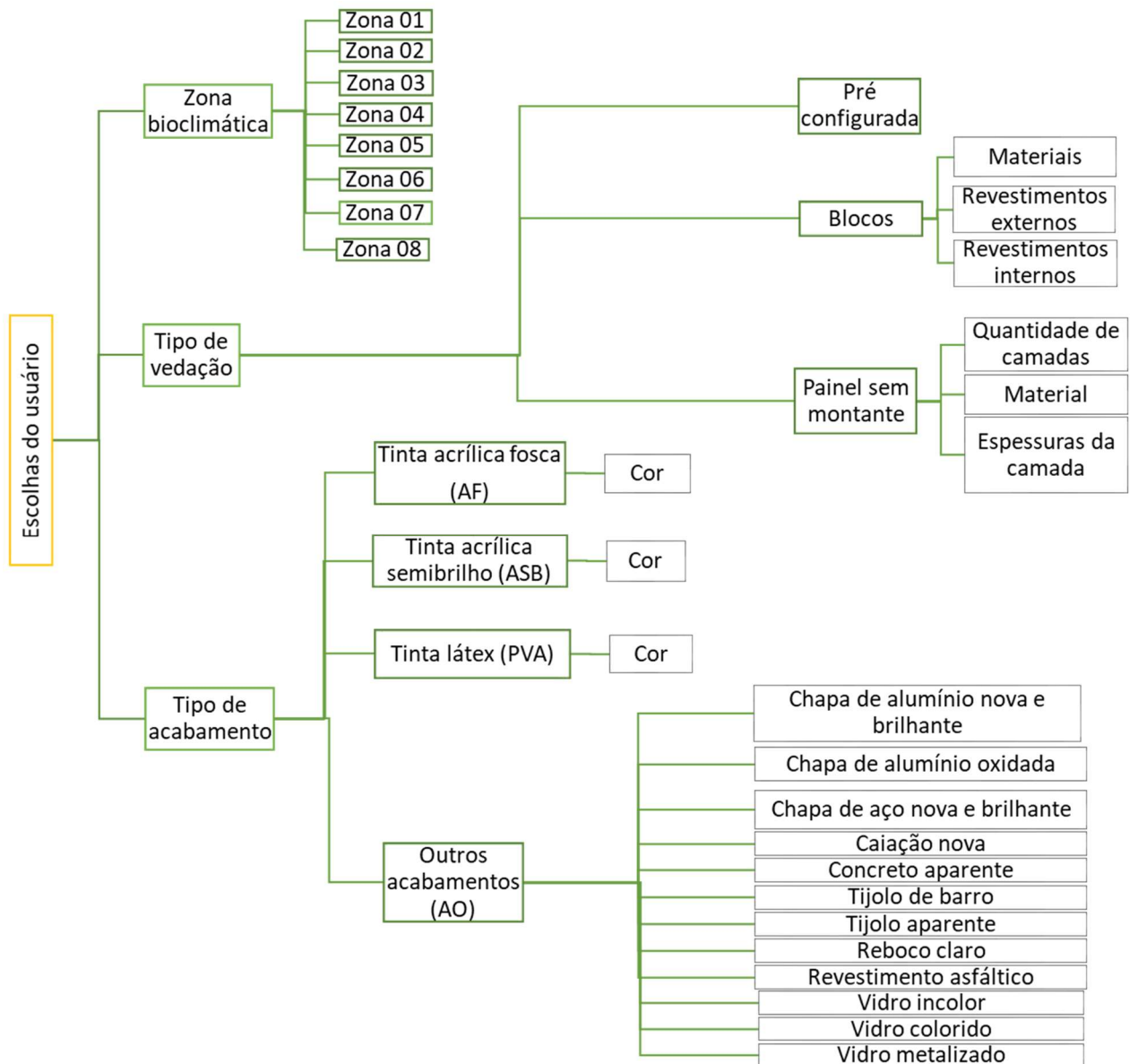
Quadro 6.2.1 - Parâmetros normativos para garantia de conforto térmico sem condicionadores de ar.

Zonas bioclimáticas		1	2	3	4	5	6	7	8
U (W/m ² .k)	NBR 15220-3	U ≤ 3,0	U ≤ 3,6	U ≤ 2,2	U ≤ 3,6	U ≤ 2,2	U ≤ 2,2	U ≤ 3,6	
	NBR 15575-4	U ≤ 2,5	U ≤ 3,7 se α ≤ 0,6 U ≤ 2,5 se α > 0,6						
C _T (K/m ² .K)	NBR 15220-3	-							
	NBR15 575 -4	C _T ≥ 130							Sem exigência
FS (%)	NBR 15220-3	FS ≤ 5,0	FS ≤ 4,0	FS ≤ 3,5	FS ≤ 4,0	FS ≤ 3,5	FS ≤ 3,5	FS ≤ 4,0	
	NBR 15575-4	-							
φ (h)	NBR 15220-3	φ ≤ 4,3		φ ≥ 6,5	φ ≤ 4,3	φ ≥ 6,5	φ ≤ 4,3		
	NBR 15575-4	-							
A _v (%)	NBR 15220-3	15 % < A _v < 25%					10% < A _v < 15%	A _v > 10%	
	NBR 15575-4	A _v ≥ 7 %					A _v ≥ 12% - região norte A _v ≥ 8% - região nordeste e sudeste		
Sombrea- mento das aberturas	NBR 15220-3	Permitir sol durante o inverno		Sombrear aberturas					
	NBR 15575-4	-							

Fonte: Autoria própria.

Na planilha, o usuário pode escolher entre o uso dos materiais pré-estabelecidos no programa ou configurar o envelope da maneira que mais se adequa ao estabelecido com o cliente. A estruturação da planilha no *Excel* trabalhou com dois tipos de vedação (blocos e painéis sem montante) e emprego de revestimentos externos e revestimentos internos para as paredes. A Figura 6.2.1, esquematiza as escolhas do usuário dentro da planilha.

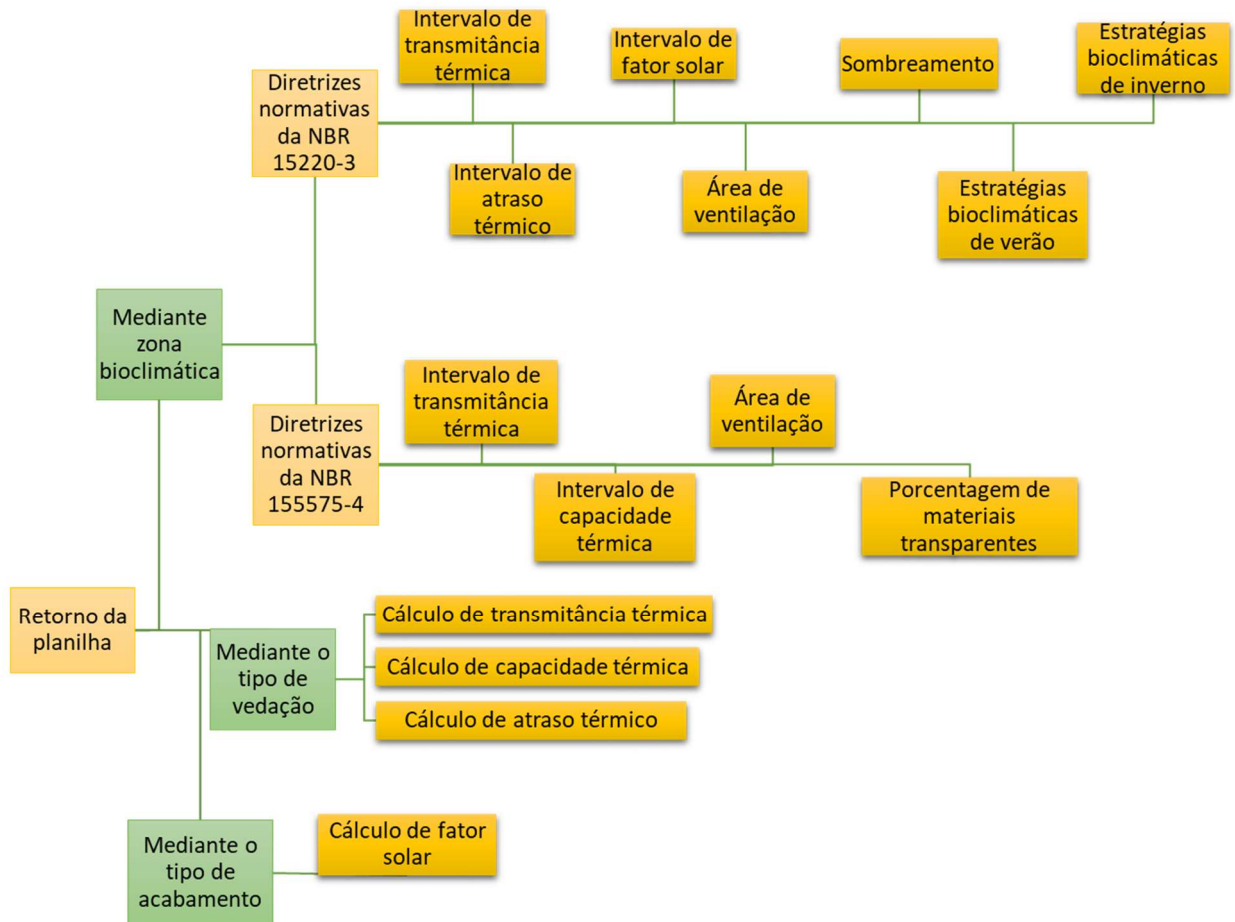
Figura 6.2.1 – Estruturação da planilha: escolhas do usuário



Fonte: Autoria própria

Mediante os dados fornecidos pelo usuário a planilha retorna as diretrizes normativas, realiza os cálculos e conclui se o sistema de vedação vertical escolhido está em conformidade com as características estabelecidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) ou se é necessário modificar o elemento. A Figura 6.2.2, em amarelo, explicita as respostas apresentadas pela planilha.

Figura 6.2.2 – Estruturação da planilha: respostas da planilha



Fonte: Autoria própria

As informações empregadas para mensuração de transmitância térmica e atraso térmico partiram da NBR 15220/3 (ABNT, 2005); já, para o fator solar foram utilizadas as informações da pesquisa do autor Dornelles (2008). Todos os cálculos respaldaram-se na NBR 15220/2 e NBR 15575/4.

6.3 Terceira etapa – Validação da planilha de cálculo

A validação da planilha de cálculo, terceira etapa, foi realizado mediante comparação da simulação de valores de artigos publicados em periódicos com o resultado obtido em planilha.

Para tanto empregou-se o estudo de Jesus *et al.* (2018), intitulado “Análise comparativa dos sistemas construtivos em alvenaria convencional, alvenaria estrutural e moldes isolantes para concreto (ICF)”, publicado no periódico *Engineering and Science*.

Os pesquisadores conduziram uma análise técnica e financeira comparativa entre o sistema construtivo em ICF e os sistemas convencionais, incluindo alvenaria de vedação com estrutura de concreto armado e alvenaria estrutural. Nesse sentido, examinaram o desempenho térmico conforme especificado pela NBR 15.575, e também realizaram uma avaliação da racionalização dos processos de produção, adotando a filosofia *Lean Construction*. No âmbito orçamentário, o estudo investigou os custos associados à produção de cada sistema.

Os resultados da pesquisa realizada por Jesus *et al.* (2018) indicam que a alvenaria estrutural demonstra um custo-benefício superior em comparação com outras formas analisadas. Esta abordagem apresentou um coeficiente de transmissão térmica (U) de 1,85 W/m².K, representando um aumento no custo de 30,35% em comparação com a alvenaria convencional. Por outro lado, o ICF apresentou um valor de U=0,42 W/m².K, resultando em uma redução de -12,84% no custo em relação à alvenaria convencional, cujo U é de 2,48 W/m².K.

Muitos autores enfatizam a importância de um planejamento arquitetônico cuidadoso, o a qual considere características como trajetória solar, ventos predominantes e sombreamento.

Um *design* bem elaborado assegurará um bom desempenho energético, menor poluição e menor custo de energia necessário para o aquecimento e resfriamento do edifício (PARASCHIV *et al.*, 2020). Portanto, o equilíbrio das decisões na etapa de projeto, corrobora significativamente no conforto térmico dos ocupantes na fase de uso da construção (GALASO *et al.*, 2016; KINI *et al.*, 2022).

Aragão *et al.* (2013) e Ochoa *et al.* (2014) destacam que a aplicabilidade de projetos padrões sem considerar as características locais geram déficit de conforto térmico além de irem ao contrário das premissas de sustentabilidade e de eficiência energética.

No Brasil projetos básicos de Unidades de Pronto Atendimento (UPA), de Centro Especializados em Reabilitação (CER), de escolar estaduais e federais, de quadras poliesportivas, de unidades habitacionais populares, entre outros, são disponibilizados nos *sites* dos ministérios e secretarias brasileiras para replicação em todo o país. No entanto, esses projetos não consideram as condições climáticas e ambientais.

Aragão *et al.* (2013) em estudo de caso de uma escola estadual no município de Macapá, destaca que a replicação do projeto padrão sem as devidas considerações das condicionantes locais, prejudicaram o uso da edificação.

Na NBR 15220/3, a cidade de Macapá é classificada na zona bioclimática 8, com recomendações de grandes aberturas protegidas por sombreamento, de maneira a garantir ventilação cruzada constante. Todavia, as salas de aula são expostas as radiações solares diretas em todo o período da tarde, enquanto o corredor é totalmente sombreado no mesmo espaço de tempo. Além disso, a localização da lousa branca está perpendicular à incidência solar direta. Isso levou, para garantir a boa funcionalidade do local, a necessidade de instalação de ar-condicionado e cortinas, prejudicando a ventilação. A simples modificação de orientação do projeto, ou acréscimo de dispositivos de sombreamento colaboraria para melhor funcionalidade da construção.

Desta maneira, para encontrar um sistema construtivo adequado, em termos de conforto térmico e desempenho energético, é necessário conhecer o local e as preferências do tomador de decisões (SILVA, *et al.*, 2016).

Um outro aspecto de importância para assegurar o conforto térmico é o dimensionamento apropriado do envoltório do edifício. Para tanto, exige conhecimento das propriedades térmicas dos materiais de construção (condutividade térmica, espessura,

reflectância), das temperaturas dos fluidos circundantes, e caso haja, das normas vigentes (KALUA, 2016; PARASCHIV *et al.*, 2020).

No estudo de Araüz *et al.* (2022), foi observado que os maiores ganhos de calor se deram, principalmente, pelo telhado e pelas paredes externas. Portanto, as características termofísicas dos materiais e a espessura das paredes desempenham um papel significativo na determinação da taxa de transferência de calor do ambiente externo para o interior do edifício (LAPISA *et al.*, 2020; JANNAT *et al.*, 2020).

Jannat *et al.* (2020), ressaltam que as paredes externas do envelope podem ser construídas com uma única camada ou várias camadas visando alcançar a capacidade térmica adequada para proporcionar conforto térmico satisfatório aos usuários da construção. Ademais, Lapisa *et al.* (2020) demonstraram que o tipo de material de cobertura tem um impacto significativo no perfil de temperatura interior da edificação e no nível de conforto tanto de dia como de noite.

Para tanto, muitos estudos comparativos de sistemas de vedação foram realizados em diversos climas a fim de estabelecer o melhor método construtivo. Todavia, como destacado, as condicionantes locais exercem grandes influências na determinação do conforto térmico; sendo assim, dificilmente a aplicação de um único método em uma ampla variedade de locais será satisfatório.

No Quadro 7.1.1 estão apresentados os principais resultados dos estudos encontrados pela pesquisa sistêmica. Ressalta que, mesmo em climas semelhantes, as estratégias para adquirir conforto térmico por meio de otimização do envelope são diferentes.

Quadro 7.1.1 – Principais resultados de estudos sobre estratégias bioclimáticas passivas aplicadas no envelope da edificação (continua)

Estudo	Clima	Resultados
Alhaddad <i>et al.</i> (2013)	Clima árido - invernos frios e verões quentes.	Foi observado que, embora o tijolo cozido tenha sido o melhor em conforto térmico geral-verão e inverno, a rocha de pedra proporciona o melhor conforto térmico no verão, enquanto o tijolo cozido tem o pior conforto térmico no verão. Esse problema pode ser resolvido por meio de ventilação.
Ochoa <i>et al.</i> (2014)	Clima quente e seco.	Concluiu que o bloco vazado de concreto e o tijolo vermelho com camada isolante de poliestireno expandido na face externa são as melhores opções.
Gutiérrez <i>et al.</i> (2014)	Clima desértico seco.	Os melhores resultados constatados são aqueles que consideram telhado e paredes com técnicas com uma câmara de ar entre os materiais, seguido pela adição de materiais isolantes.

Quadro 7.1.1 – Principais resultados de estudos sobre estratégias bioclimáticas passivas aplicadas no envelope da edificação (continuação)

Estudo	Clima	Resultados
Kalua (2016)	Estação quente e úmida e outra fria e seca.	Observou-se que o isolamento excessivo da envolvente do edifício tem geralmente um efeito prejudicial nos níveis de conforto do espaço interior.
Khambadkone <i>et al.</i> (2017)	Clima varia de quente-seco a frio.	A mudança dentro de uma mesma zona climática (quinta zona bioclimática indiana o clima varia de quente-seco a frio) eleva o conforto térmico de 25% a 46%.
Lin <i>et al.</i> (2018)	Verões quentes e invernos frios	Constatou que as soluções ótimas contemplam camada de concreto com espessura mediana superior a 0,21 m; camada de isolamento de 52,9 a 75,2 mm; absorção de radiação solar de 0,167 a 0,5406; e uma relação janela-parede de 11,1 a 15,4%.
Lamrhari <i>et al.</i> (2018)	Climas desérticos, semiáridos, mediterrâneo, continental e frio.	No estudo concluíram, com exceção do clima frio, climas com altas temperaturas não é recomendado o isolamento da fachada do apartamento. O isolamento da fachada leva ao superaquecimento no verão (climas desérticos, semiáridos, mediterrâneo e continental); podendo aumentar a carga térmica total do apartamento em até 18%. Em climas com temperaturas mais elevadas a parede com câmara de ar foi suficiente para atingir um nível aceitável de eficiência energética e evitou o superaquecimento no verão. Em relação ao isolamento térmico do piso, foi mostrado que aumenta a carga térmica do apartamento em climas quentes e moderados em pelo menos 67%. Portanto, concluiu que o isolamento térmico do piso é necessário apenas no clima frio. Agora, o alto isolamento térmico do telhado é recomendado em todas as condições climáticas, pois reduz as necessidades energéticas do apartamento para resfriamento e aquecimento em pelo menos 53%, além disso, não leva a superaquecimento no verão.
Ascione <i>et al.</i> (2019)	Zonas bioclimáticas italianas A, B, C, D, E e F	Os resultados mostraram que a absorção solar das superfícies externas e a inserção de camadas de isolamento, dos telhados e das paredes, tendem a aumentar das zonas climáticas mais quentes para as mais frias.
D'Agostino <i>et al.</i> (2019)	Verões quentes e invernos amenos, verões quentes e invernos muito frios e verões muito quentes e invernos amenos.	Para Milão (Norte da Itália, verões quentes e invernos muito frios), as espessuras ótimas de isolamento são de 8–10 cm. Constatou que a demanda de energia no inverno sempre diminui com o aumento da espessura do isolamento, enquanto permanece quase constante no verão, sendo assim, é mais vantajoso a terceira opção, balanceando os custos. Para Palermo (Sul da Itália, verões quentes e invernos amenos), a espessura de isolamento acima de 2–4 cm não é vantajosa, pois, embora a demanda de energia para aquecimento diminua com o aumento da espessura, o aumento na demanda de energia para resfriamento resulta em um aumento da demanda anual global de energia. Para (Norte do Egito, verões muito quentes e invernos amenos), o isolamento é sempre desvantajoso.

Quadro 7.1.1 – Principais resultados de estudos sobre estratégias bioclimáticas passivas aplicadas no envelope da edificação (fim)

Estudo	Clima	Resultados
Jannat <i>et al.</i> (2020)	Clima tropical	Os resultados indicaram que a inclusão de uma camada isolante contribui para a estabilidade da temperatura interna e, a localização das camadas de isolamento não interferem nos resultados de conforto térmico. As paredes cuja configuração apresentavam uma camada de ar obtiverem melhores resultados quando comparadas àquelas que não tinham.
Lapisa <i>et al.</i> (2020)	Clima tropical úmido.	O telhado de chapa de zinco apresenta um desempenho inferior como barreira de calor solar, com potencial de causar superaquecimento durante o dia. Entre os dois materiais alternativos - bambu e ijuk -, os telhados ijuk são melhores para aumentar o conforto durante o dia e dissipar uma quantidade adequada de calor à noite.
Araüz <i>et al.</i> (2022)	Clima tropical.	A escolha de uma configuração de envelope com layout de telhado com valores baixos de massa térmica e isolamento baixos, juntamente com layouts de paredes e divisórias com massa térmica alto e isolamento baixo, são uma opção adequada.

Fonte: Autoria própria.

Também, ao escolher os materiais para o envelope, é fundamental considerar não apenas a inércia térmica, mas também fatores como o custo, a proximidade da fonte de fabricação em relação à edificação e, sempre que possível, o ciclo de vida do material (OCHOA *et al.*, 2014).

Ede *et al.* (2017), em seu estudo, demonstraram que os materiais de origem local não apenas são mais ecologicamente corretos, mas também contribuem para a eficiência energética e a sustentabilidade em geral. Os resultados também revelaram que materiais de construção tradicionais, como taipa ou argila e telhado de palha, apresentam um desempenho energético superior em comparação com a maioria dos materiais comumente utilizados na Nigéria atualmente – local do trabalho, destacando assim os princípios da arquitetura vernacular.

Outra estratégia amplamente discutida é a ventilação natural. Além do ganho no conforto térmico colabora para a qualidade do ar e auxilia nos problemas de umidade (KHAMBADKONE *et al.*, 2017; SANTY *et al.*, 2017). Najjar *et al.* (2021), ressaltam a importância das aberturas no conforto térmico, mostrando que, para zona bioclimática brasileira 8, quanto maior a razão das áreas janela/parede, melhor o desempenho térmico da construção. Já Khambadkone *et al.* (2017), salientam o potencial geral de resfriamento de mais de 90% com o uso da ventilação natural e do resfriamento evaporativo direto empregados concomitantemente.

Além das estratégias de design, inércia térmica e ventilação deve-se observar a absorção de calor decorrente do acabamento externo do envelope. Além de atribuir valor estético as tintas

devem ser cuidadosamente escolhidas com intuito de conferir melhores temperaturas térmicas interiores dos edifícios; a escolha adequada conferiu a economia de mais de 30% de energia empregada com climatização (SOUTO *et al.*, 2020). Lamrhari *et al.* (2018) analisaram o efeito das cores da cobertura; para tanto, concluíram que cores claras com absorção solar de 0,3–0,4 são ideias para climas moderados a desérticos, já para climas frios, a melhor escolha são as telhas de cor escura.

Sendo assim; após análise do estado da arte; conclui-se a ineficiência de aplicabilidade de projetos padrões; a importância no equilíbrio nas decisões de projeto e o papel crucial do conhecimento das condicionantes locais e das propriedades térmicas dos materiais. Logo, um gama de fatores contribui para a garantia ou não do conforto térmico em edificações.

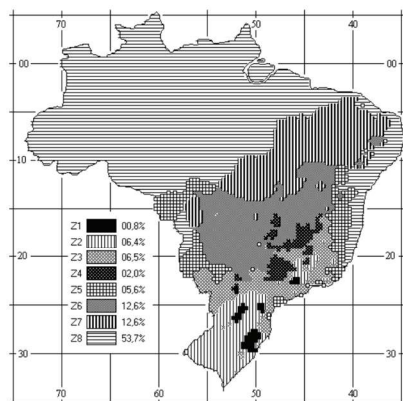
7.2 Estruturação da planilha de cálculo

No tocante a planilha de cálculo desenvolvida, temos como resposta a transmitância térmica, o atraso térmico, a capacidade térmica, o fator solar, a área de abertura, a porcentagem de elementos transparentes, a necessidade de sombreamento e as estratégias bioclimáticas para verão e inverno. Desta maneira, respaldado na NBR 15220 e na NBR 15575, contribui para a tomada de decisão correta, na fase de projeto, dos elementos do envelope e para a aplicação das estratégias bioclimáticas mediante a inserção da zona bioclimática a qual o projeto da edificação será executado. Foi estruturada de maneira a proporcionar para o usuário três caminhos para solução resposta, podendo optar por uma parede pré-configurada, parede de blocos personalizada ou painel sem montante.

Na primeira aba, Figura 7.2.1, o usuário preencherá as células em verde. Auxiliado pelo mapa de zoneamento bioclimático brasileiro, colocará a zona bioclimática para qual o projeto está sendo realizado, o estado, nome da cidade e escolherá o acabamento do envelope (tinta acrílica fosca - AF, tinta acrílica semibrilho ASB, tinta látex PVA - PVA ou outro acabamento - OA), bem como a cor desejada.

Figura 7.2.1 – Primeira aba: início da planilha

Dados de entrada				NBR 15220						Parâmetros			
Estado	Cidade	Zona Bioclimática	Acabamento externo	Abertura para ventilação - Área (em%da área de piso)	Sombreamento das aberturas	Parede	Cobertura	Estratégias passivas - Verão	Estratégias passivas - Inverno	Transmitância térmica, $W/m^2.K$, $U \leq$	Capacidade térmica, $kJ/m^2.K, \geq$	% de área de aberturas	% de elementos transparentes



- Parede pré configurada
- Parede personalizada - Blocos
- Parede personalizada - Painéis sem montante

Fonte: Autoria própria.

Para exemplo, Figura 7.2.2, cidade de Niterói, Rio de Janeiro, zona bioclimática 5, acabamento PVA na cor laranja. Ao preencher as células com esses dados, a planilha retorna: nas diretrizes da NBR 15220 as aberturas de tamanhos médio sombreadas – $15\% < A < 25\%$, paredes leves refletoras, coberturas leves isoladas, estratégia bioclimática passiva de verão sendo ventilação cruzada e estratégia bioclimática passiva de inverno sendo vedações internas pesada (inércia térmica). Já para NBR 15575 a transmitância térmica deve ser maior ou igual a $3,7 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, a capacidade térmica maior ou igual a $130 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{K}$, a área de abertura maior que 7% da área do piso e a porcentagem de elementos transparentes se área de piso for menor ou igual a 20 m^2 o percentual de área transparente deve ser menor ou igual a 20% e caso a área de piso seja maior que 20 m^2 a área de elementos transparentes deve ser menor ou igual a $4,0 \text{ m}^2$.

Agora, o usuário pode escolher entre ir para a aba de paredes pré-configuradas, paredes personalizadas (blocos) ou para parede personalizada (painéis sem montante).

Figura 7.2.2 – Exemplo Cidade de Niterói

Dados de entrada				Parâmetros										
Estado	Cidade	Zona Biodimática	Acabamento externo	NBR 15220					NBR 15575					
				Abertura para ventilação - Área (em%da área de piso)	Sombreamento das aberturas	Parede	Cobertura	Estratégias passivas - Verão	Estratégias passivas - Inverno	Transmitância térmica, W/m ² .K, U<=	Capacidade térmica, kJ/m ² .K,>=	% de área de aberturas	% de elementos transparentes	
RJ	Niterói	Zona 5	PVA Laranja	Médias	15%<A<25%	Sombrear aberturas	Leve refletora	Leve isolada	J) Ventilação cruzada	C) Vedações internas pesada (inércia térmica)	3,7	130	Maior ou igual a 7,0%	Se área de piso for menor ou igual a 20 m ² o percentual de área transparente deve ser menor ou igual a 20%; caso a área de piso seja maior que 20 m ² a área de elementos transparentes deve ser menor ou igual a 4,0 m ²

Parede pré configurada

Parede personalizada -
Blocos

Parede personalizada -
Paines sem montante

Fonte: Autoria própria.

Ao escolher as paredes pré-configuradas deparar-se-á com a aba com os resumos das características para a zona bioclimática definida, Figura 7.2.3. Para seguir com a tomada de decisões o usuário deve escolher entre as 24 paredes definidas na planilha, conforme o apresentado na Tabela D.3 da NBR 15220/3, na célula verde. Para ilustrar, vedação tipo 5, Figura 7.2.4.

Figura 7.2.3 – Aba parede pré-configurada

Resumo		
Parede	Zona 5	Leve refletora
NBR 15220	Transmitância térmica $W/m^2.K$, sendo assim, U	3,60
	Atraso térmico Horas, sendo assim, ϕ	4,30
	Fator solar %, sendo assim, F_{so}	4,00
NBR 15575	Transmitância térmica, $W/m^2.K$, $U \leq$	3,7
	Capacidade térmica, $kJ/m^2.K \geq$	130

Parede pré-configurada		
Item	Dados	Resposta
NBR 15220	Transmitância térmica (U) $W/m^2.K$	
	Atraso térmico (ϕ) Horas	
	Fator solar (F_{so}) %	
NBR 15575	Transmitância térmica, $W/m^2.K$, U	
	Capacidade térmica, $kJ/m^2.K$	

Parede personalizada - blocos
Parede personalizada - painel sem montante
Resumo

Fonte: Autoria própria.

Figura 7.2.4 – Parede pré configurada em planilha conforme a NBR 15220/3



Paredes de tijolos 8 furos quadrados assentados na menor dimensão
 Dimensões do tijolo: 9,0x19,0x19,0 cm
 Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm
 Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm

Fonte: ABNT (2005).

Ao escolher o tipo da vedação a planilha retorna se o elemento está “Aceito” respeitando as diretrizes normativas ou se deve ser realizada alguma alteração retornando “Modificar elemento”, quando não há enquadramento nas normas de transmitância térmica, capacidade térmica ou atraso térmico ou “Modificar acabamento” quando o fator de ganho solar estiver

fora do estabelecido em norma. Nesse caso, a vedação escolhida está conforme as diretrizes da NBR15220, Figura 7.2.5.

Figura 7.2.5 – Parede pré-configurada, exemplo.

Resumo		
Zona 5		
Parede Leve refletora		
NBR 15220	Transmitância térmica $W/m^2.K$, sendo assim, U	3,60
	Atraso térmico Horas, sendo assim, ϕ	4,30
	Fator solar %, sendo assim, Fso	4,00
NBR 15575	Transmitância térmica, $W/m^2.K$, $U \leq$	3,7
	Capacidade térmica, $kJ/m^2.K, \geq$	130

Parede pré-configurada			
Item	Dados	Resposta	
		5	
NBR 15220	Transmitância térmica (U) $W/m^2.K$	2,49	Aceito
	Atraso térmico (ϕ) Horas	3,30	Aceito
	Fator solar (Fso) %	3,97	Aceito
NBR 15575	Transmitância térmica, $W/m^2.K$, U	2,49	Aceito
	Capacidade térmica, $kJ/m^2.K$	158	Aceito

Parede personalizada - blocos
Parede personalizada - painel sem montante
Resumo

Fonte: Autoria própria.

Neste momento o usuário pode, caso satisfeito com todas as escolhas, ir para a aba de resumo, ou se desejar alterar algum parâmetro específico, direcionar para a aba de parede personalizada – blocos ou parede personalizada – painel sem montante ou voltar a página inicial, Figura 7.2.1.

Dirigindo a aba de resumos estará apresentado todas as escolhas feitas pelo usuário bem como os fatores recomendados pela norma, Figura 7.2.6. O usuário pode gerar o PDF do resumo para servir de guia de execução do projeto.

Figura 7.2.6 – Resumo: exemplo para parede pré configurada

Resumo normativos	
Zona Bioclimática	Zona 5
Abertura para ventilação	Médias
Sombreamento das aberturas	Sombrear aberturas
Parede	Leve refletora
Cobertura	Leve isolada
% de elementos transparentes	Se área de piso for menor ou igual a 20 m ² o percentual de área transparente deve ser menor ou igual a 20%; caso a área de piso seja maior que 20 m ² a área de elementos transparentes deve ser menor ou igual a 4,0 m ²
Estratégias passivas - Verão	J) Ventilação cruzada
Estratégias passivas - Inverno	C) Vedações internas pesada (inércia térmica)
Dados de projeto	
Acabamento externo	PVA Cor: Laranja
Transmitância térmica (U) W/m ² .K	2,49
Atraso térmico (ω) Horas	3,30
Fator solar (Fso) %	3,97
Tipo de vedação (NBR 15220/2)	5
Descrição	Paredes de tijolos 8 furos quadrados assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 9,0x19,0x19,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 14,0 cm

Gerar PDF

Voltar

Fonte: Autoria própria.

Direcionando para aba de paredes personalizadas, Figura 7.2.7, o usuário encontrará os resumos das características para a zona bioclimática definida, bem como os campos para preencher os dados da vedação.

Figura 7.2.7 – Aba parede personalizada – blocos

Resumo		Parede personalizada	
NBR 15220	Zona 5	NBR 15220	Dados
	Leve refletora		Comparação
	Transmitância térmica $W/m^2.K$, sendo assim, U		Transmitância térmica (U)
	Atraso térmico Horas, sendo assim, ϕ		Atraso térmico (ϕ) Horas
Fator solar %, sendo assim, F_{so}	4	Fator solar (F_{so}) %	
NBR 15575	Transmitância térmica, $W/m^2.K$, $U \leq$	NBR 15575	Transmitância térmica (U) $W/m^2.K$
	Capacidade térmica, $kJ/m^2.K, \geq$		Capacidade térmica, $kJ/m^2.K$

Parede personalizada

Características da vedação	
Material	
Largura	
Altura	
Comprimento	
Quantidades de furos horizontal	
Quantidades de furos vertical	
Largura do furo	
Altura do furo	
Espaçamento horizontal entre furo	
Espaçamento vertical entre furo	
Sentido de assentamento do tijolo	
Argamassa de assentamento	
Espessura	

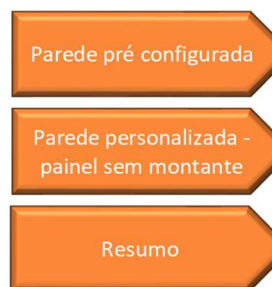
Revestimento externo 1	
Material	N/D
Espessura	0

Revestimento externo 2	
Material	N/D
Espessura	0

Revestimento interno 1	
Material	N/D
Espessura	0

Revestimento interno 2	
Material	N/D
Espessura	0

OBS: quando não tiver revestimento colocar espessura igual a 0
OBS: unidades de medidas em metros



Fonte: Autoria própria

No que se refere ao material principal da vedação o usuário poderá escolher entre cerâmico, concreto, isopor, cerâmica de alta densidade, adobe ou madeira de alta densidade. Após a escolha, deverá preencher as células verdes com as características do elemento e definir a direção de assentamento bem como a espessura da argamassa de assentamento.

Para os revestimentos internos e externos o usuário poderá decidir entre argamassa comum, argamassa de gesso, adobe, granito, gnaisse, ardósia, xisto, basalto, calcários/mármore, placas de fibrocimento, placa de gesso, gesso cartonado, gesso projetado ou de densidade aparente alta, lã de rocha, lã de vidro, espuma rígida de poliuretano, poliestireno estrudado, poliestireno expandido moldado, madeiras com densidade de massa aparente elevado, tábua de pinus, placa cimentícia, placa OSB, placa concreto celular 20 mm, placa concreto celular 50 mm, placa concreto celular 75 mm, lã de vidro - para *steel frame*, chapa gesso acartonado, argamassa flexível, chapa XPS, concreto comum, concreto cavernoso, ar e N/D (nada, ou seja, nenhum revestimento aplicado).

Após seleção o usuário deve definir a espessura de cada revestimento. A Figura 7.2.8 consta as escolhas realizadas para o exemplo.

Similarmente às paredes pré-configuradas ao definir os parâmetros da vedação a planilha retorna se o elemento está “Aceito” respeitando as diretrizes normativas ou se deve ser realizado alguma alteração retornando “Modificar elemento”, quando não há enquadramento nas normas de transmitância térmica, capacidade térmica ou atraso térmico ou “Modificar acabamento” quando o fator de ganho solar estiver fora do estabelecido em norma. Todavia, nesse exemplo, a vedação escolhida está conforme as diretrizes da NBR 15220 e NBR 15575.

Agora o usuário pode, caso satisfeito com todas as escolhas, ir para a aba de resumo, direcionar a parede personalizada – painel sem montante, ou voltar a página inicial, Figura 7.2.1. Seguindo para a aba de resumos o usuário terá acesso a todas as escolhas feitas e aos fatores recomendados pela norma, Figura 7.2.9. O usuário pode gerar o PDF do resumo para servir de guia de execução do projeto.

Figura 7.2.9 – Resumo: exemplo parede personalizada - blocos

Resumo normativos			
Zona Bioclimática	Zona 5		
Abertura para ventilação	Médias	Área (em%da área de piso)	15%<A<25%
Sombreamento das aberturas	Sombrear aberturas		
Parede	Leve refletora		
Cobertura	Leve isolada		
% de elementos transparentes	Se área de piso for menor ou igual a 20 m ² o percentual de área transparente deve ser menor ou igual a 20%; caso a área de piso seja maior que 20 m ² a área de elementos transparentes deve ser menor ou igual a 4,0 m ²		
Estratégias passivas - Verão	J) Ventilação cruzada		
Estratégias passivas - Inverno	C) Vedações internas pesada (inércia térmica)		
Dados de projeto			
Acabamento externo	PVA	Cor:	Laranja
Transmitância térmica (U) W/m ² .K	2,43		
Atraso térmico (ω) Horas	3,54		
Fator solar (Fso) %	3,87		
Tipo de vedação	Personalizada		
Descrição	Tijolo	Cerâmico	
	Quantidade de furos	2,00	
	Quantidade de furos vertical	3,00	
	Espessura de argamassa de assentamento	0,01	
	Revestimento externo 1	Argamassa comum	e: 0,02
	Revestimento externo 2	N/D	e: 0,00
	Revestimento interno 1	Argamassa comum	e: 0,02
Revestimento interno 2	N/D	e: 0,00	

Gerar PDF

Voltar

Fonte: Autoria própria.

Orientando-se para aba de paredes personalizadas – painel sem montante, Figura 7.2.10, o usuário encontrará os resumos das características para a zona bioclimática definida, bem como os campos para preencher os dados de cada camada, escolhendo material e espessura.

Figura 7.2.10 – Aba parede personalizada - painel sem montante

Resumo			Parede personalizada	
Zona 5			Dados	Comparação
Parede Leve refletora			NBR 15220	Transmitância térmica (U)
Transmitância térmica $W/m^2.K$, sendo assim, U	3,6	Atraso térmico (ϕ) Horas		
Atraso térmico Horas, sendo assim, ϕ	4,3	Fator solar (F_{so}) %		
Fator solar %, sendo assim, F_{so}	4	NBR 15575	Transmitância térmica (U) $W/m^2.K$	
Transmitância térmica, $W/m^2.K$, $U_{<=}$	3,7		Capacidade térmica, $kJ/m^2.K$, $>=$	
Capacidade térmica, $kJ/m^2.K$, $>=$	130			

Parede personalizada	
Camada 1	
Material	N/D
Espessura	0
Camada 2	
Material	N/D
Espessura	0
Camada 3	
Material	N/D
Espessura	0
Camada 4	
Material	N/D
Espessura	0
Camada 5	
Material	N/D
Espessura	0
Camada 6	
Material	N/D
Espessura	0
Camada 7	
Material	N/D
Espessura	0

OBS: quando não tiver camada colocar espessura
OBS: unidades de medidas em metros

Parede pré configurada

Parede personalizada - blocos

Resumo

[Voltar](#)

Fonte: Autoria própria.

Em relação aos materiais de cada camada o usuário poderá escolher entre argamassa comum, argamassa de gesso, adobe, granito, gnaiss, ardósia, xisto, basalto, calcários/mármore, placas de fibrocimento, placa de gesso, gesso cartonado, gesso projetado

ou de densidade aparente alta, lã de rocha, lã de vidro, espuma rígida de poliuretano, poliestireno estrudado, poliestireno expandido moldado, madeiras com densidade de massa aparente elevado, tábua de pinus, placa cimentícia, placa OSB, placa concreto celular 20 mm, placa concreto celular 50 mm, placa concreto celular 75 mm, lã de vidro - para *steel frame*, chapa gesso acartonado, argamassa flexível, chapa XPS, concreto comum, concreto cavernoso, ar e N/D (nada, ou seja, sem camada).

Sendo assim, posteriormente a escolha do material o usuário definirá a espessura de cada camada. A Figura 7.2.11 consta as escolhas realizadas para o exemplo.

Analogamente às vedações apresentadas anteriormente (parede pré-configurada e parede personalizada – blocos), ao definir todos os parâmetros da vedação a planilha retorna se o elemento está “Aceito” respeitando as diretrizes normativas ou se deve ser realizado alguma alteração retornando “Modificar elemento”, quando não há enquadramento nas normas de transmitância térmica, capacidade térmica ou atraso térmico ou “Modificar acabamento” quando o fator de ganho solar estiver fora do estabelecido em norma. Entretanto, nesse exemplo, o sistema de vedação analisado no exemplo está conforme as diretrizes da NBR 15220 e NBR 15575.

Figura 7.2.11 – Aba parede personalizada - painel sem montante, exemplo

Resumo			Parede personalizada			
NBR 15220	Parede Zona 5 Leve refletora		NBR 15220	Transmitância térmica (U)	Dados 2,44	Comparação Aceito
	Transmitância térmica $W/m^2.K$, sendo assim, U	3,6		Atraso térmico (ω) Horas	4,26	Aceito
	Atraso térmico Horas, sendo assim, ω	4,3		Fator solar (F_{so}) %	3,89	Aceito
	Fator solar %, sendo assim, F_{so}	4				
NBR 15575	Transmitância térmica, $W/m^2.K$, $U_{<=}$	3,7	NBR 15575	Transmitância térmica (U) $W/m^2.K$	2,44	Aceito
	Capacidade térmica, $kJ/m^2.K$, $>=$	130		Capacidade térmica, $kJ/m^2.K$	162,19	Aceito

Parede personalizada	
Camada 1	
Material	Placas de fibrocimento
Espessura	0,04
Camada 2	
Material	Madeiras com
Espessura	0,02
Camada 3	
Material	Placa OSB
Espessura	0,025
Camada 4	
Material	Madeiras com densidade de massa aparente elevado
Espessura	0,02
Camada 5	
Material	Argamassa de gesso
Espessura	0,015
Camada 6	
Material	N/D
Espessura	0
Camada 7	
Material	N/D
Espessura	0

OBS: quando não tiver camada colocar espessura
OBS: unidades de medidas em metros

Parede pré configurada

Parede personalizada - blocos

Resumo

← Voltar

Fonte: Autoria própria.

Daí em diante, caso o usuário esteja satisfeito com todas as suas escolhas, tem a opção de navegar para a aba de resumo ou retornar à página inicial, conforme apresentado na Figura 7.2.1. Ao acessar a aba de resumos, o usuário terá visibilidade de todas as decisões tomadas e dos fatores recomendados pela norma, conforme representado na Figura 7.2.11. Além disso, há a possibilidade de gerar um arquivo PDF do resumo, que pode ser utilizado como guia para a execução do projeto.

Figura 7.2.12 – Resumo: exemplo parede personalizada - painel sem montante

Resumo normativos			
Zona Bioclimática	Zona 5		
Abertura para ventilação	Médias	Área (em%da área de piso)	15%<A<25%
Sombreamento das aberturas	Sombrear aberturas		
Parede	Leve refletora		
Cobertura	Leve isolada		
% de elementos transparentes	Se área de piso for menor ou igual a 20 m ² o percentual de área transparente deve ser menor ou igual a 20%; caso a área de piso seja maior que 20 m ² a área de elementos transparentes deve ser menor ou igual a 4,0 m ²		
Estratégias passivas - Verão	J) Ventilação cruzada		
Estratégias passivas - Inverno	C) Vedações internas pesada (inércia térmica)		
Dados de projeto			
Acabamento externo	PVA	Cor:	Laranja
Transmitância térmica (U) W/m ² .K	2,44		
Atraso térmico (ω) Horas	4,26		
Fator solar (Fso) %	3,89		
Tipo de vedação	Personalizada		
Descrição	Tipo	Painel sem montante	
	Camada 01	Placas de fibrocimento	0,04 m
	Camada 02	Madeiras com densidade de	0,02 m
	Camada 03	Placa OSB	0,025 m
	Camada 04	Madeiras com densidade de	0,02 m
	Camada 05	Argamassa de gesso	0,015 m
	Camada 06	N/D	0 m
	Camada 07	N/D	0 m

Gerar PDF



Fonte: Autoria própria.

7.3 Validação da planilha

No intuito de validar a planilha empregou-se os sistemas de vedação discriminados no no estudo de Jesus *et al.* (2018), intitulado “Análise comparativa dos sistemas construtivos em alvenaria convencional, alvenaria estrutural e moldes isolantes para concreto (ICF)”, publicado no periódico *Engineering and Science*.

Entretanto, o artigo em questão não detalha as características dos blocos empregados para alvenaria convencional e alvenaria estrutural, como largura e altura de furos, espaçamento entre furos e espessura da argamassa de assentamento. Sendo assim, empregou-se as dimensões mais usuais no mercado.

Para tanto, no que se refere a alvenaria convencional, utilizou-se os parâmetros explicitados na Figura 7.3.1. No estudo referência o valor de transmitância térmica foi de 2,48 W/m².K., a planilha retornou o valor de 2,49 W/m².K., Figura 7.3.2, sendo assim um erro de 0,403%. Esse erro deve-se as considerações realizadas e aproximações de casas decimais.

Figura 7.3.1 – Aba parede personalizada - blocos, validação alvenaria convencional

Parede personalizada							
Características da vedação		Revestimento externo 1					
Material	Cerâmico	Material	Argamassa comum				
Largura	0,0900	Espessura	0,025				
Altura	0,1400	Revestimento externo 2					
Comprimento	0,1900	Material	N/D				
Quantidades de furos horizontal	2,0000	Espessura	0	OBS: quando não tiver revestimento colocar espessura igual a 0 OBS: unidades de medidas em metros			
Quantidades de furos vertical	3,0000	Revestimento interno 1					
Largura do furo	0,0300	Material	Argamassa				
Altura do furo	0,0350	Espessura	0,025				
Espaçamento horizontal entre furo	0,0100	Revestimento interno 2					
Espaçamento vertical entre furo	0,0088	Material	N/D				
Sentido de assentamento do tijolo	Largura	Espessura	0				
Argamassa de assentamento							
Espessura	0,01						

Fonte: Autoria própria.

Figura 7.3.2 – Resposta parede personalizada - blocos, alvenaria convencional

Parede personalizada			
NBR 15220	Transmitância térmica (U)	Dados 2,49	Comparação Aceito
	Atraso térmico (Φ) Horas	3,45	Aceito
	Fator solar (Fso) %	3,98	Aceito
NBR 15575	Transmitância térmica (U) W/m ² .K	2,49	Aceito
	Capacidade térmica, kJ/m ² .K	167,47	Aceito

Fonte: Autoria própria.

Agora, referente a alvenaria estrutural, utilizou-se os parâmetros ilustrados na Figura 7.3.3. No estudo referência o valor de transmitância térmica foi de 1,85 W/m².K., a planilha retornou o valor de 1,88 W/m².K., Figura 7.3.4, sendo assim um erro de 1,62%. Esse erro deve-se as considerações realizadas e aproximações de casas decimais.

Figura 7.3.3 – Aba parede personalizada - blocos, validação alvenaria estrutural

Parede personalizada			
Características da vedação		Revestimento externo 1	
Material	Cerâmico	Material	Argamassa comum
Largura	0,1400	Espessura	0,025
Altura	0,1900	Revestimento externo 2	
Comprimento	0,2900	Material	N/D
Quantidades de furos horizontal	3,0000	Espessura	0
Quantidades de furos vertical	3,0000	Revestimento interno 1	
Largura do furo	0,0300	Material	Argamassa
Altura do furo	0,0500	Espessura	0,025
Espaçamento horizontal entre furo	0,0167	Revestimento interno 2	
Espaçamento vertical entre furo	0,0100	Material	N/D
Sentido de assentamento do tijolo	Largura	Espessura	0
Argamassa de assentamento			
Espessura	0,01		

OBS: quando não tiver revestimento colocar espessura igual a 0
OBS: unidades de medidas em metros

Fonte: Autoria própria.

Figura 7.3.4 – Resposta parede personalizada - blocos, alvenaria estrutural.

Parede personalizada			
		Dados	Comparação
NBR 15220	Transmitância térmica (U)	1,88	Aceito
	Atraso térmico (Φ) Horas	5,18	Modificar elemento
	Fator solar (Fso) %	3,00	Aceito
NBR 15575	Transmitância térmica (U) W/m ² .K	1,88	Aceito
	Capacidade térmica, kJ/m ² .K	222,12	Aceito

Fonte: Autoria própria.

Para o sistema ICF empregou-se os parâmetros ilustrados na Figura 7.3.5. No estudo referência o valor de transmitância térmica foi de 0,42W/m².K., o mesmo valor retornado pela planilha, Figura 7.3.6. Os sistemas ICF são novos, e ainda não possuem muitas empresas no ramo, logo, a padronização do produto colaborou para maior assertividade da planilha.

Figura 7.3.5 – Aba parede personalizada - painel sem montante, validação ICF

Parede personalizada	
Camada 1	
Material	Argamassa comum
Espessura	0,02
Camada 2	
Material	Poliestireno
Espessura	0,04
Camada 3	
Material	Concreto
Espessura	0,06
Camada 4	
Material	Poliestireno estrudado
Espessura	0,04
Camada 5	
Material	Argamassa comum
Espessura	0,02
Camada 6	
Material	N/D
Espessura	0
Camada 7	
Material	N/D
Espessura	0

OBS: quando não tiver camada colocar espessura
OBS: unidades de medidas em

Parede pré configurada

Parede personalizada - blocos

Resumo

[← Voltar](#)

Fonte: Autoria própria.

Figura 7.3.6 – Resposta parede personalizada - painel sem montante, ICF

Parede personalizada			
	Dados	Comparação	
NBR 15220	Transmitância térmica (U)	0,42	Aceito
	Atraso térmico (Φ) Horas	13,13	Modificar elemento
	Fator solar (Fso) %	0,68	Aceito
NBR 15575	Transmitância térmica (U) W/m ² .K	0,42	Aceito
	Capacidade térmica, kJ/m ² .K	209,69	Aceito

Fonte: Autoria própria.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através do estudo da arte realizado nesse trabalho, observou-se que as estratégias da arquitetura bioclimática não se limitam a apenas um tipo de clima; é empregada globalmente.

Nesse sentido, analisou-se que o uso correto de materiais de construção (transmitância térmica, capacidade térmica, atraso térmico e fator solar), área de aberturas, área de elementos transparentes, necessidade de sombreamento e/ou radiação solar, de ventilação dentre outras alternativas as quais colaboram para assegurar o conforto térmico satisfatório e dentro das normas vigentes. Desta maneira, o equilíbrio das decisões na etapa de projeto é extremamente importante para garantir a funcionalidade da construção sem grandes demandas energéticas.

Por consequência, observou-se que as tomadas de decisões acertadas exigem conhecimento das propriedades térmicas dos materiais de construção (condutividade térmica, espessura, reflectância, absorvância), das temperaturas dos fluidos circundantes, pois mesmo dentro de um mesmo país as estratégias para garantir o conforto térmico variam; no Brasil, por exemplo, há oito zonas bioclimáticas cada qual com suas especificidades.

Dessa maneira, foi possível desenvolver a planilha de cálculo proposta, de acordo com a norma NBR 15220 (ABNT, 2023) e NBR 15575 (ABNT, 2021), apresentando-se como uma alternativa capaz de propiciar o conforto térmico, respaldados nos padrões normativos, servindo de suporte para os projetos arquitetônicos e utilizando conceitos da arquitetura bioclimática. Por meio dela é possível ter diretrizes para alicerçar o *design* das edificações.

Desta maneira, ao colocar os parâmetros na planilha, obteve-se como resposta a transmitância térmica, a capacidade térmica, o atraso térmico, o fator solar, a área de abertura, área de elementos transparentes e as estratégias bioclimáticas para verão e inverno para cada zona bioclimática brasileira. Sendo assim, mediante aos dados inseridos pelo usuário é possível identificar se a edificação assegurará conforto térmico ao ocupante sem o uso de condicionadores de ar.

À vista disso, sugere-se para futuros trabalhos a ampliação da base de dados, inserindo novos materiais de acabamento e a junção de fatores orçamentários para complementar a tomada de decisão.

REFERÊNCIAS

- ALHADDAD, M. A.; JUN, Z. T. A Comparative Study of the Thermal Comfort of Different Building Materials in Sana'a. **American Journal of Engineering and Applied Sciences**, v. 6, n. 1, p. 20-24, 2013.
- ANSI/ASHRAE STANDARD 55-2017. **ASHRAE 55**: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, p. 66, 2017.
- ANUÁRIO ESTATÍSTICO DE ENERGIA ELÉTRICA 2023: Ano base 2022. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética, 2023-. Disponível em: <https://dashboard.epe.gov.br/apps/anuario/>. Acesso em: 8 ago. 2023.
- ARAGÃO, J.; BARTOLOMEU, A.; BOTELHO, L.; et al. Bioclimatic analysis state school in the City of Macapá-Amapá/Brazil. **Mediterranean Journal of Social Sciences**, v. 4, n. 11, p. 621–630, 2013.
- ARAÚZ, J.; MORA, D.; AUSTIN, M. C. Assessment of Different Envelope Configurations via Optimization Analysis and Thermal Performance Indicators: A Case Study in a Tropical Climate. **Sustainability (Switzerland)**, v. 14, n. 4, 2022.
- ARÉVALO, O. B. La arquitectura bioclimática. **Modulo Arquitectura**, v. 14, p. 31-40, 1 jan. 2015.
- Arquitetura bioclimática na América Latina**: estratégias passivas para economizar energia. 22 abr. 2021. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/957671/arquitetura-bioclimatica-na-america-latina-estrategias-passivas-para-economizar-energia>. Acesso em: 18 ago. 2023.
- ASCIONE, F.; BIANCO, N.; DE MASI, R. F.; MAURO, G. M.; VANOLI, G. P. Design of the building envelope: A novel multi-objective approach for the optimization of energy performance and thermal comfort. **Sustainability (Switzerland)**, v. 7, n. 8, p. 10809–10836, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 7730**: Moderate thermal environments – Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. Rio de Janeiro: ABNT, 2005. 12 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13532** Elaboração de projetos de edificações - Arquitetura. Rio de Janeiro: ABNT, 1995. 8 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15220-1** Desempenho térmico de edificações Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro: ABNT, 2005. 12 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15220-2** Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2005. 40 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15220-2**
Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2023. 47 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE 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: ABNT, 2005. 36 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15220-4:**
Desempenho térmico de edificações Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida. Rio de Janeiro: ABNT, 2005. 16 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15220-5:**
Desempenho térmico de edificações: Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico. Rio de Janeiro: ABNT, 2005. 16 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15575-1**
Edificações habitacionais – Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2021. 95 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15575-2**
Edificações habitacionais – Desempenho Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais. Rio de Janeiro: ABNT, 2013. 31 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15575-3**
Edificações habitacionais – Desempenho Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos. Rio de Janeiro: ABNT, 2021. 45 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15575-4**
Edificações habitacionais – Desempenho Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas — SVVIE. Rio de Janeiro: ABNT, 2021. 72 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15575-5**
Edificações habitacionais – Desempenho Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas. Rio de Janeiro: ABNT, 2021. 78 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15575-6**
Edificações habitacionais – Desempenho Parte 6: Requisitos para os sistemas hidrossanitários. Rio de Janeiro: ABNT, 2021. 33 p.

BOGO, A.; PIETROBON, C. E.; BARBOSA, M. J.; GOULART, S.; PITTA, T.; LAMBERTS, R. **Relatório interno - 02/94:** Bioclimatologia aplicada ao projeto de edificações visando o conforto térmico. UFSC, 83p., 1994.

CARVALHO, T. A. M. **Conforto ambiental:** térmico. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A, 2018. 200 p.

CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE O MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. De acordo com a Resolução n2 44/228 da Assembléia Geral da ONU, de 22-12-89, estabelece uma abordagem equilibrada e integrada das questões relativas a meio a. Brasília, p. 472, 1995.

D'AGOSTINO, D.; DE' ROSSI, F.; MARIGLIANO, M.; MARINO, C.; MINICHELLO, F. Evaluation of the optimal thermal insulation thickness for an office building in different climates by means of the basic and modified "cost-optimal" methodology. **Journal of Building Engineering**, v. 24, 2019.

DORNELLES, K. A. **Absortância solar de superfícies opacas: métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA**. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – UNICAMP, Campinas, 2008.

EDE, A. N.; OLOFINNADE, O. M.; ENYI-ABONTA, E.; BAMIGBOYE, G. O. Implications of construction materials on energy efficiency of buildings in tropical regions. **International Journal of Applied Engineering Research**, v. 12, n. 18, p. 7873–7883, 2017.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Nota técnica EPE 030/2018. **Uso de Ar-Condicionado no Setor Residencial Brasileiro: Perspectivas e contribuições para o avanço em eficiência energética**, Empresa de Pesquisa Energética, 43p., 2018.

FERNANDES, J. T. **Código de obras e edificações do DF: Inserção de conceitos bioclimáticos, conforto térmico e eficiência energética**. 2009. 93 p. Dissertação (Mestre em Arquitetura e Urbanismo) – UNB, Brasília, 2009.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001. 244 p.

GALASO, J. L. P.; LADRÓN DE GUEVARA LÓPEZ, I.; BONED PURKISS, J. The influence of microclimate on architectural projects: a bioclimatic analysis of the single-family detached house in Spain's Mediterranean climate. **Energy Efficiency**, v. 9, n. 3, p. 621–645, 2016.

GAN, W.; CAO, Y.; JIANG, W.; LI, L.; LI, X. Energy-saving design of building envelope based on multiparameter optimization. **Mathematical Problems in Engineering**, v. 2019, 2019.

GIVONI, B. Comfort, climate analysis and building design guidelines. **Energy and Buildings**, v. 18, p. 11-23, 1992.

GUTIÉRREZ, T.; ROMERO, R.; SOTELO, C. Thermal energy impact of bioclimatic techniques applied to Low-income housing in a hot dry climate. **Energy Procedia**, v. 57, p. 1743-1752, 16 out. 2014.

How much energy is consumed in U.S. buildings? Independent Statistics and Analysis U.S. Energy Information Administration, 28 abr. 2023. Disponível em: <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=86&t=1>. Acesso em: 8 ago. 2023.

IBGE. **PIB cresce 4,6% em 2021 e fecha o ano em R\$ 8,7 trilhões.** Estatísticas Econômicas, 4 mar. 2022. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/33067-pib-cresce-4-6-em-2021-e-fecha-o-ano-em-r-8-7-trilhoes>. Acesso em: 10 ago. 2023.

JANNAT, N.; HUSSIEN, A.; ABDULLAH, B.; COTGRAVE, A. A comparative simulation study of the thermal performances of the building envelope wall materials in the tropics. **Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 12, 2020.

JESUS, A. T. C.; BARRETO, M. F. F. M. Análise comparativa dos sistemas construtivos em alvenaria convencional, alvenaria estrutural e moldes isolantes para concreto (ICF). **Engineering and Science**, v. 3, ed. 7, p. 12-27, 2018.

JOHN, V. M. Materiais de Construção e o Meio Ambiente. In: JOHN, V. M. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. São Paulo: IBRACON, 2017. cap. 4.

KALUA, A. Envelope thermal design optimization for urban residential buildings in Malawi. **Buildings**, v. 6, n. 2, 2016.

KHAMBADKONE, N. K.; JAIN, R. A bioclimatic analysis tool for investigation of the potential of passive cooling and heating strategies in a composite Indian climate. **Building and Environment**, v. 123, p. 469–493, 2017.

KINI, P. G.; GARG, N. K.; KAMATH, K. An assessment of the impact of passive design variations of the building envelope using thermal discomfort index and energy savings in warm and humid climate. **Energy Reports**, v. 8, p. 616–624, 2022.

LAGO, M. P. **Arquitetura bioclimática: consecuencias en el lenguaje arquitectónico**. 2015. 51 p. Monografia (Bacharel em Arquitetura e Urbanismo), Universidade da Coruña, 2015.

LAMBERTS, R.; XAVIER, A. A. P. Conforto térmico e stress térmico. **Laboratório de Eficiência Energética em Edificações**, 111p., 2002.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3º, 2014. 382 p.

LAMRHARI, E. H. D.; BENHAMOU, B. Thermal behavior and energy saving analysis of a flat with different energy efficiency measures in six climates. **Building Simulation**, v. 11, n. 6, p. 1123–1144, 2018.

LAPISA, R.; K, A.; ROMANI, Z. Analysis of Thermal Effects of Roof Material on Indoor Temperature and Thermal Comfort. **International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology**, v. 10, n. 5, p. 2068–2074, 2020.

LIN, Y.; ZHOU, S.; YANG, W.; LI, C.-Q. Design optimization considering variable thermal mass, insulation, absorptance of solar radiation, and glazing ratio using a prediction model and genetic algorithm. **Sustainability (Switzerland)**, v. 10, n. 2, 2018.

MENJÍVAR, M. R. G. Arquitectura Bioclimática como parte fundamental para el ahorro de energía en edificaciones. **ING-NOVACIÓN**, [S. l.], ano 3, n. 5, p. 123-133, 2013.

MIKHAILOVA, I. Sustentabilidade: Evolução dos conceitos teóricos e os problemas da mensuração prática. **Revista Economia e Desenvolvimento**, n. 16, p. 22-41, 2004.

NAJJAR, M. K.; ROSA, A. C.; HAMMAD, A. W. A.; et al. A regression-based framework to examine thermal loads of buildings. **Journal of Cleaner Production**, v. 292, 2021.

NASCIMENTO, E. P. Trajetória da sustentabilidade: do ambiental ao social, do social ao econômico. **Estudos avançados**, v. 26, p. 51-64, 2012.

OCHOA, J. M.; MARINCIC, I.; ALPUCHE, M. G.; DUARTE, E. A.; GONZALEZ, I.; HUELZ, G.; BARRIOS, G. Cost benefit energy analysis of the building envelope systems with Ener-Habitat. **Energy Procedia**, v. 57, p. 1792-1797, 2014.

PARASCHIV, L. S.; ACOMI, N.; SERBAN, A.; PARASCHIV, S. A web application for analysis of heat transfer through building walls and calculation of optimal insulation thickness. **Energy Reports**, v. 6, p. 343–353, 2020.

PÉREZ-LOMBARD, L.; ORTIZ, J.; POUT, C. A review on buildings energy consumption information. **Energy and Buildings**, v. 40, p. 394-398, 2007.

RUIZ, J. G. **Arquitectura bioclimática:retos para un futuro cercano: Análisis de la arquitectura bioclimática mediterránea en los últimos años**. 2018. 57 p. Monografía (Bacharel em Arquitetura e Urbanismo) – Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Valencia, 2018.

SALVADOR, M. **Investigação no âmbito do projeto.**, 2017. 221 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Escola Superior de Gallaecia, 2017

SANTY; MATSUMOTO, H.; TSUZUKI, K.; SUSANTI, L. Bioclimatic analysis in pre-design stage of passive house in Indonesia. **Buildings**, v. 7, n. 1, 2017.

SAYAD, B.; MENNI, Y.; AL-BAHRANI, M.; et al. Designing for optimum thermal comfort using bioclimate simulation and analysis as an urban and architectural design and educational support tool. **International Journal of Low-Carbon Technologies**, v. 17, p. 1470–1477, 2022.

SILVA, N. L. **Análise dos parâmetros de conforto térmico em habitações populares de um conjunto em João Pessoa/PB**. 2015.151 p. Dissertação (Mestre em Engenharia de Produção) – U FBA, João pessoa,2015.

SILVA, A. S.; ALMEIDA, L. S. S.; GHISI, E. Decision-making process for improving thermal and energy performance of residential buildings: A case study of constructive systems in Brazil. **Energy and Buildings**, v. 128, p. 270–286, 2016.

SILVA, T. A. C.; PAULA, H. M. Gestão da água em usina de concreto: análise do emprego de Moringa oleifera no tratamento de água residuária e proposta de reuso após tratamento. **Revista Matéria**, v. 24, n. 2, 2019.

SOUTO, T.; ALMEIDA, M.; LEAL, V.; MACHADO, J.; MENDES, A. Total solar reflectance optimization of the external paint coat in residential buildings located in mediterranean climates. **Energies**, v. 13, n. 11, 2020.

Como fazer a ventilação natural?. 17 nov. 2022. Disponível em: <https://tecvent.com.br/como-fazer-a-ventilacao-natural>. Acesso em: 18 ago. 2023.

TUBELO, R.; RODRIGUES, L.; GILLOTT, M.; ZUNE, M. Comfort within budget: Assessing the cost-effectiveness of envelope improvements in single-family affordable housing. **Sustainability (Switzerland)**, v. 13, n. 6, 2021.

ZAMBRANO, G. D. C. C.; MERO, J. L. C. Arquitectura bioclimática. **Polo del Conocimiento**, ano 3, v. 5, n. 43, p. 751-779, 2020.