



Uema
UNIVERSIDADE ESTADUAL
DO MARANHÃO

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
DEPARTAMENTO DE ARQUITETURA E URBANISMO
ARQUITETURA E URBANISMO BACHARELADO

ARTHUR MATHEUS DE JESUS SOUSA

**CONFORTO TÉRMICO COMO ALTERNATIVA PARA REDUÇÃO DO CONSUMO
ENERGÉTICO:** A importância dos estudos da racionalização das condicionantes
climáticas locais para a concepção de habitação de interesse social.

SÃO LUÍS

2025

ARTHUR MATHEUS DE JESUS SOUSA

CONFORTO TÉRMICO COMO ALTERNATIVA PARA REDUÇÃO DO CONSUMO

ENERGÉTICO: A importância dos estudos da racionalização das condicionantes climáticas locais para a concepção de habitação de interesse social.

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual do Maranhão como requisito para obtenção do grau de bacharel em Arquitetura e Urbanismo.

Orientadora: Prof. Dra. Sanadja de Medeiros Souza

SÃO LUÍS

2025

Sousa, Arthur Matheus de Jesus.

CONFORTO TÉRMICO COMO ALTERNATIVA PARA REDUÇÃO DO CONSUMO ENERGÉTICO: A importância dos estudos da racionalização das condicionantes climáticas locais para a concepção de habitação de interesse social. / Arthur Matheus de Jesus Sousa. - São Luís - MA, 2025.

107 f.

Monografia (Graduação em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2025.

Orientadora: Profa. Dra. Sanadja de Medeiros Souza.

1. Conforto térmico. 2. Sustentabilidade. 3. Edificações eficientes. 4. Redução do consumo energético. I. Título.

CDU: 728.1:504.06

ARTHUR MATHEUS DE JESUS SOUSA

**CONFORTO TÉRMICO COMO ALTERNATIVA PARA REDUÇÃO DO CONSUMO
ENERGÉTICO: A importância dos estudos da racionalização das condicionantes
climáticas locais para a concepção de habitação de interesse social.**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação
em Arquitetura e Urbanismo da Universidade
Estadual do Maranhão como requisito para
obtenção do grau de bacharel em Arquitetura e
Urbanismo.

Aprovado em: 25/07/2025

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
gov.br SANADJA DE MEDEIROS SOUZA
Data: 02/09/2025 11:47:18-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dra. Sanadja de Medeiros Souza (Orientadora)
Doutora em Urbanismo
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Documento assinado digitalmente
gov.br CAROLINA DE OLIVEIRA BUONOCORE
Data: 02/09/2025 19:59:57-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dra. Carolina de Oliveira Buonocore
Doutora em Arquitetura e Urbanismo
Universidade Federal de Santa Catarina

Erika Teresa B. Coêlho
Sr^a. Erika Teresa Boucinhas Coêlho
Arquiteta e Urbanista
Universidade Estadual do Maranhão

AGRADECIMENTOS

A Deus, em primeiro lugar, por sua infinita bondade.

À minha família, por todo o amor e apoio.

Aos professores que me formaram com paciência, sabedoria e dedicação, deixo minha profunda gratidão.

E, em especial, à minha orientadora, Professora Doutora Sanadja de Medeiros Souza, por sua orientação precisa, incentivo constante e por ser exemplo de excelência acadêmica.

“Trabalhemos no sentido de uma arquitetura livre e espontânea, que seja uma clara expressão de nossa cultura e revele uma sensível apropriação de nosso espaço; trabalhemos no sentido de uma arquitetura sombreada, aberta, contínua, vigorosa, acolhedora e envolvente, que, ao nos colocar em harmonia com o ambiente tropical, nos incite a nele viver integralmente”.

Armando de Holanda.

RESUMO

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), percentualmente, em 2019, as edificações brasileiras são responsáveis por cerca de 50% do consumo de energia elétrica no país. Diante disso, investir em soluções que promovam o conforto ambiental nas edificações é uma estratégia eficiente e sustentável para diminuir o consumo de energia. Deste modo, conferir a um edifício predicados que favoreçam uma solução térmica ambiental adequada não torna substancialmente o custo da construção mais oneroso, mas o inverso: racionalizado. Resulta em redução do custo de utilidade e de reparo, além de proporcionar condições ambientais internas agradáveis aos residentes. Portanto, a contribuição social dos estudos relacionados ao conforto térmico aplicado a racionalização no uso da energia elétrica se apresenta através da possibilidade de economia financeira, conforto humano, preservação ambiental e sustentável.

Palavras-chave: Conforto térmico; Sustentabilidade; Edificações eficientes; Redução do consumo energético.

ABSTRACT

According to the Brazilian Energy Research Company (EPE), as of 2019, buildings in Brazil accounted for approximately 50% of the country's electricity consumption. In this context, investing in solutions that promote environmental comfort in buildings emerges as an efficient and sustainable strategy for reducing energy use. Incorporating design features that support proper thermal performance does not significantly increase construction costs; on the contrary, it fosters resource rationalization. This results in lower utility and maintenance expenses, while also providing pleasant indoor environmental conditions for occupants. Therefore, studies related to thermal comfort and the rational use of electricity contribute socially by enabling financial savings, enhancing human comfort, and supporting sustainable environmental preservation.

Keywords: Thermal comfort; Sustainability; Efficient buildings; Energy consumption reduction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de ventilação urbana em climas úmidos	33
Figura 2 - Ventilação Cruzada	34
Figura 3 - Efeito Chaminé	34
Figura 4 - Interferência dos beirais amplos na orientação do fluxo de ar	35
Figura 5 - Interferência da vegetação na orientação do fluxo de ar	35
Figura 6 - Quebra vento com elemento vazado	36
Figura 7 - Sombreamento com vegetação	38
Figura 8 - Prateleira de luz	39
Figura 9 - Altura e azimute de um corpo celeste	40
Figura 10 - Carta bioclimática de Givoni	46
Figura 11 - Zona de conforto	47
Figura 12 - Zona de ventilação natural	47
Figura 13 - Zona de inércia térmica para resfriamento	48
Figura 14 - Zona de condicionamento artificial com isolamento térmico	49
Figura 15 - Zona de Sombreamento	50
Figura 16 - Zona Bioclimática 8	54
Figura 17 - Residencial Magno Cruz	73
Figura 18 - Mapa de situação do Residencial Magno Cruz	74
Figura 19 - Planta baixa da unidade habitacional do residencial Magno Cruz ..	75
Figura 20 - Detalhes construtivos das Unidades habitacionais	76
Figura 21: Planta de Implantação	83
Figura 22 - Planta baixa	85
Figura 23 -Planta de layout	86
Figura 24- Cálculo do percentual de abertura para ventilação	109

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Absortividade dos materias	41
Tabela 2 - Condutividade térmica dos materiais	42
Tabela 3 - Transmitância térmica dos materiais	43
Tabela 4 - Absortividade das cores.....	45
Tabela 5 - Consumo médio de eletricidade em residências brasileiras por região e faixa tarifária	60
Tabela 6 - Fases do PMCMV.....	64
Tabela 7 - Verificação do Percentual de abertura para ventilação (Método Simplificado – NBR 15575) para o Residencial Magno Cruz.....	96
Tabela 8 - Resistência térmica da Envoltória do Residencial Magno Cruz	96
Tabela 9 - Percentual de abertura de referência para ventilação	108

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Temperaturas máximas	51
Gráfico 2 -Temperaturas e precipitação média – São Luís.....	52
Gráfico 3 - Velocidade dos ventos	53
Gráfico 4 - Gráfico: Frequência de ocorrência dos ventos	53
Gráfico 5 - Carta psicrométrica para cidade de São Luís	55
Gráfico 6 - Consumo de energia primária – Brasil, EUA, China e Europa: 1990 – 2020.....	59
Gráfico 7 - Participação setorial no consumo de eletricidade	59
Gráfico 8 -Consumo de Energia Elétrica Total (kWh) - São Luís/MA	61
Gráfico 9 -Total de unidades consumidoras de energia elétrica em São Luís...	62

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	15
1.1.	Objetivos.....	18
▪	Geral	18
▪	Específicos	18
1.2.	Justificativa	19
2.	REFERENCIAL TEÓRICO	20
2.1.	Clima de São Luís e a arquitetura bioclimática.....	20
2.1.1.	Arquitetura bioclimática	20
2.1.2.	Bioclimatologia aplicada ao clima quente e úmido	31
2.1.3.	Estratégias bioclimáticas	32
2.1.4.	Propriedades térmicas dos elementos construtivos	40
2.1.5.	Carta bioclimática	45
2.1.6.	Clima de São Luís	50
2.1.7.	O estudo da carta psicrométrica para a cidade de São Luís	54
2.2.	Crise energética mundial e o padrão de consumo energético da habitação de interesse social em São Luís	56
2.2.1.	Crise Energética mundial	56
2.2.2.	Panorama atual	57
2.2.3.	Construção civil e a crise energética global.....	58
2.2.4.	Padrão de consumo energético da habitação de interesse social em São Luís	60
2.3.	Conforto térmico em habitação unifamiliar de interesse social no Programa Minha Casa Minha Vida	63
2.3.1.	Breve Histórico	63
2.3.2.	Aspectos críticos da produção habitacional no PMCMV e seus reflexos no	65
2.3.3.	Avanços normativos no PMCMV: análise da Portaria nº 725/2023 quanto ao Conforto térmico e Programa mínimo das unidades habitacionais	67
3.	PROCEDIMENTO METODOLÓGICO	71
4.	ESTUDO DE CASO DA UNIDADE DO PROGRAMA MINHA CASA MINHA VIDA NO MARANHÃO RESIDENCIAL MAGNO CRUZ	73
4.1.	Situação e Implantação.....	73

4.2.	Forma do edifício e layout interno.....	74
4.3.	Dados Construtivos.....	75
4.4.	Condições ambientais.....	76
4.5.	Resultados e discussão.....	76
4.5.1.	Estratégias Passivas de sombreamento e ventilação	76
4.5.2.	Desempenho térmico dos materiais.....	77
4.6.	Conclusão.....	79
5.	PROJETO MODELO DE HABITAÇÃO UNIFAMILIAR DE INTERESSE SOCIAL PARA SÃO LUÍS	81
5.1.	Conceito.....	81
5.2.	Partido.....	82
5.3.	Implantação	82
5.4.	O edifício.....	84
5.5.	Estudo bioclimático.....	86
	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	88
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90
	REFERÊNCIAS DIGITAIS	93
	APÊNDICE A - VERIFICAÇÃO DO PERCENTUAL DE ABERTURA PARA VENTILAÇÃO PARA O RESIDENCIAL MAGNO CRUZ	96
	APÊNDICE B – PROJETO MODELO PARA UNIDADE DE INTERESSE SOCIAL: PLANTA DE IMPLANTAÇÃO	97
	APÊNDICE C – PROJETO MODELO PARA UNIDADE DE INTERESSE SOCIAL: PLANTA DE COBERTURA.....	98
	APÊNDICE D – PROJETO MODELO PARA UNIDADE DE INTERESSE SOCIAL: PLANTA BAIXA.....	99
	APÊNDICE E – PROJETO MODELO PARA UNIDADE DE INTERESSE SOCIAL: PLANTA DE LAYOUT	100
	APÊNDICE F – PROJETO MODELO PARA UNIDADE DE INTERESSE SOCIAL: CORTES.....	101
	APÊNDICE G – PROJETO MODELO PARA UNIDADE DE INTERESSE SOCIAL: ELEVAÇÕES	102
	APÊNDICE H – PROJETO MODELO PARA UNIDADE DE INTERESSE SOCIAL: ESTUDO BIOCLIMÁTICO ORIENTAÇÃO NORTE/SUL	103

APÊNDICE I – PROJETO MODELO PARA UNIDADE DE INTERESSE SOCIAL: ESTUDO BIOCLIMÁTIO ORIENTAÇÃO LESTE/OESTE	104
APÊNDICE J – PROJETO MODELO PARA UNIDADE DE INTERESSE SOCIAL: ESTUDO BIOCLIMÁTICO ORIENTAÇÃO NOROESTE/SUDESTE	105
APÊNDICE K – PROJETO MODELO PARA UNIDADE DE INTERESSE SOCIAL: ESTUDO BIOCLIMÁTICO ORIENTAÇÃO NORDESTE/SUDOESTE	106
APÊNDICE L – PERSPECTIVAS.....	107
ANEXO A – TABELA DE PERCENTUAL DE ABERTURA DE REFERÊNCIA PARA VENTILAÇÃO, NBR 15575	108
ANEXO B - CÁLCULO DO PERCENTUAL DE ABERTURA PARA VENTILAÇÃO, NBR 15575.....	109

1. INTRODUÇÃO

A destruição promovida pela II Guerra Mundial demandou a imediata reconstrução de diversas cidades, esse processo levou arquitetos e engenheiros a busca por métodos mais eficientes e econômicos de construir. Desta forma, no período pós-guerra a arquitetura progrediu significativamente na forma como os edifícios eram concebidos e edificados, logo o advento de novas tecnologias e métodos construtivos possibilitaram a concepção de edificações mais modernas.

As décadas de 1950 e 1960 foram notabilizadas pelo progressivo consumo de bens e serviços, energia e combustível. Em vista disso, a difusão de soluções habitacionais inovadoras e a fartura de combustível barato, suprimiu algumas atribuições dos arquitetos. Como explica Corbella (2009), a tecnologia dos engenheiros, gradativamente, preteriu o conforto térmico do usuário e substituiu a iluminação natural pela artificial. Dessarte, como consequência imediata, destaca-se o aumento do gasto energético e a degradação do meio ambiente proveniente da geração e do consumo dessa energia.

Contudo, se outrora a abundância de combustível barato limitava a consciência dos indivíduos frente ao uso racional desse recurso natural, ao se instaurar a crise do petróleo na década de 1970, a imprescindibilidade da adoção de práticas sustentáveis que reduzam o consumo de energia tornou-se irrefutável. Como expõe Moraes (2009), conhecido como a primeira crise do petróleo, a decisão dos países-membros da Organização dos Países Exportadores de Petróleo abalou a economia capitalista, ocasionando forte recessão mundial e a procura de novos combustíveis renováveis. Desta forma, tal evento trouxe à tona a necessidade de se repensar a demanda energética e a importância de soluções mais eficientes e sustentáveis na arquitetura. Lamberts *et al.* (2014, p.22) indicam que:

Após tantos momentos históricos onde a arquitetura teve seus conceitos criado, alterados e até excluídos, foi finalmente em 1992 que a organização da Nações Unidas (ONU) realizou uma conferência cujo tema foi o desenvolvimento sustentável. A então chamada Eco 92 discutiu o papel da humanidade em ser capaz de se desenvolver de forma sustentável, ou seja, de garantir que seu desenvolvimento, embora atenda às necessidades do presente, garanta às gerações futuras atenderem também às suas necessidades.

As mudanças climáticas globais têm afetado profundamente o ambiente construído, exigindo que os edifícios garantam o conforto dos indivíduos consumindo o mínimo de energia. Deste modo, a incompatibilidade dos elementos arquitetônicos com as características climáticas regionais e as necessidades de conforto dos indivíduos contribuem significativamente para as elevações do consumo energético e dano ambiental. Assim, arquitetura bioclimática surge como alternativa a essa problemática, propondo integrar os edifícios ao seu ambiente natural e diminuir dependência de recursos não renováveis.

Nessa conjuntura, a conexão entre a arquitetura bioclimática e as mudanças climáticas globais é extremamente expressiva, haja vista que a arquitetura bioclimática se apresenta como uma solução para os desafios ambientais trazidos por essas mudanças. Assim, o objetivo dessa abordagem é integrar os edifícios ao clima da região, aproveitando recursos naturais para otimizar o conforto térmico e reduzir a carga de energia, incluindo a utilização da ventilação e iluminação naturais, com a finalidade de diminuir a dependência de sistemas de climatização mecânicos e, conseqüentemente, a pegada de carbono das construções. Corbella (2009, p.19) elucida que:

“É a arquitetura que quer criar prédios objetivando o aumento da qualidade de vida do ser humano no ambiente construído e no seu entorno, integrado com as características da vida e do clima locais, consumindo a menor quantidade de energia compatível com o conforto ambiental, para legar um mundo menos poluído para as futuras gerações”.

Por isso, apesar do grande potencial das cidades para implementar estratégias bioclimáticas, muitos projetos ainda não aproveitam essas abordagens de maneira eficiente. Logo, como expõe Corbella (2009) poucos edifícios modernos conseguem oferecer conforto térmico e visual aos seus ocupantes sem depender significativamente de sistemas de energia convencionais, na maioria das vezes, as construções recorrem a soluções artificiais para atingir um nível de conforto adequado. Desta forma, sobre a arquitetura brasileira em clima predominantemente tropical, Holanda (2018, p.15) reforça:

Após a ruptura da tradição luso-brasileira de construir, ocorrida no século passado e que trouxe prejuízos ao edifício, enquanto instrumento de amenização dos trópicos, de correção dos seus extremos climáticos, não foi

desenvolvido, até hoje, um conjunto de técnicas que permitam projetar e construir tendo em vista tal desempenho da edificação.

A regra vem sendo a adoção de materiais e de sistemas construtivos - quando não de soluções arquitetônicas completas - desenvolvidos para outras situações; mais que isso, a incorporação do pensamento arquitetônico estrangeiro, europeu e principalmente francês, sem a indispensável filtragem à vista do ambiente tropical.

Assim sendo, além da forma ou funcionalidade, a arquitetura desempenha um papel essencial na criação de um futuro mais equilibrado e sustentável. Alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas, ela busca promover um desenvolvimento que seja justo, viável economicamente e ambientalmente responsável. Como explicita Lamberts et al. (2014, p.17), “As decisões de projeto influenciam fortemente o desempenho térmico, visual e energético da edificação. O arquiteto deve considerar a adequação do seu projeto ao clima local utilizando diversas estratégias de uso da luz natural, resfriamento e aquecimento passivo dos ambientes”.

O desenvolvimento da pesquisa foi motivado pela significativa contribuição dos edifícios residenciais brasileiros para o elevado consumo energético e, conseqüente, elevação dos danos ao ecossistema. Dado que, conforme a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), em 2019, as edificações brasileiras foram responsáveis por cerca de 50% do consumo de energia elétrica no país. Logo, o presente estudo debruça-se em entender quais soluções projetuais podem ser empregadas para a atenuação do consumo energético e a propiciação do conforto térmico dos edifícios, considerando o uso consciente das condicionantes climáticas locais.

Portanto, foco do presente trabalho localiza-se no estado do Maranhão, essencialmente no município de São Luís - coordenadas geográficas são 2° 31' 47" de Latitude Sul e 44° 18' 10" de Longitude Oeste - onde a rica variedade de características naturais traduz sua aptidão para o desenvolvimento de arquitetura bioclimática. O município de São Luís está situado em uma região de baixa latitude, na zona costeira e com pequenas altitudes. De acordo com a classificação climática, o clima de São Luís é tropical úmido, caracterizado por altas temperaturas e baixa amplitude térmica anual.

1.1. Objetivos

- **Geral**

Elaborar um projeto de unidade habitacional modelo para habitação de interesse social, situado em climas quentes e úmidos de baixa latitude.

- **Específicos**

1. Estudar a climatologia local e os fundamentos bioclimáticos da arquitetura;
2. Eleger unidade do programa Minha Casa Minha Vida como estudo de caso no Maranhão;
3. Aplicar os princípios de eficiência energética, conforto ambiental e sustentabilidade no projeto modelo de habitação de interesse social.

1.2. Justificativa

A relevância desta pesquisa fundamenta-se na urgente necessidade de atenuação do consumo energético por meio de métodos sustentáveis aplicadas à concepção dos ambientes construídos, conforme destaca Van Lengen (2021). Investir em soluções que promovam o conforto ambiental nas edificações revela-se uma estratégia eficiente e racional, contribuindo não apenas para a melhoria da qualidade ambiental interna e da eficiência energética, mas também para o fomento ao desenvolvimento sustentável.

Ressalta-se, nesse contexto, o papel social da arquitetura na concepção de habitações de interesse social que sejam ambientalmente adequadas e energeticamente eficientes. Essa responsabilidade ganha ainda mais importância diante da realidade vivida por populações de baixa renda, historicamente mais vulneráveis à pobreza energética e aos desconfortos térmicos, especialmente em regiões de clima quente e úmido, como destaca o levantamento realizado pelo Ministério das Cidades, que evidencia a percepção dos beneficiários sobre os atributos físicos das moradias e seus efeitos no bem-estar (BRASIL, 2014).

Assim, projetar edificações que favoreçam o desempenho térmico não representa, necessariamente, aumento expressivo nos custos construtivos. Pelo contrário, tende a racionalizar os investimentos, reduzindo despesas com manutenção e consumo de energia, ao mesmo tempo em que proporciona melhores condições de habitabilidade.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Clima de São Luís e a arquitetura bioclimática

2.1.1. Arquitetura bioclimática

O conforto térmico constitui uma das principais vertentes que compõe o conforto ambiental ¹e exerce influência direta sobre o desempenho, a produtividade e o bem-estar dos indivíduos no ambiente construído. Lamberts et al. (2014, p.46) esclarecem que:

Segundo a ASHRAE (2005), Conforto Térmico é um estado de espírito que reflete a satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa. Se o balanço de todas as trocas de calor a que está submetido o corpo for nulo e a temperatura da pele e suor estiverem dentro de certos limites, pode-se dizer que o homem sente Conforto Térmico.

Diante do atual cenário de crescente preocupação com a conservação de recursos e a redução de impactos ambientais, é fundamental projetar edificações que reduzam a necessidade de soluções ativas de climatização para alcançar o conforto térmico. Para tanto, é essencial compreender e aplicar os princípios da arquitetura bioclimática, a qual propõe soluções integradas e sustentáveis, capazes de adequar as condições ambientais às necessidades humanas.

Embasada na integração entre o usuário, o edifício e o meio natural conservado, essa vertente arquitetônica busca viabilizar o conforto ambiental, a eficiência energética e a sustentabilidade, através do uso lógico dos recursos naturais disponíveis. Como exposto por Corbella (2009, p.39):

O objetivo do projeto de Arquitetura Bioclimática é prover um ambiente construído com conforto físico, sadio e agradável, adaptado ao clima local, que minimize o consumo de energia convencional e precise da instalação da menor potência elétrica possível, o que também leva à mínima produção de poluição.

Neste cenário, a análise da climatologia é precípua na concepção do projeto arquitetônico, haja vista que facilita o entendimento dos condicionantes ambientais que influenciam o desempenho térmico e energético das edificações. Por

¹ O Conforto Ambiental pode ser entendido como um conjunto de condições ambientais que permitem ao ser humano sentir bem estar térmico, visual, acústico e antropométrico, além de garantir a qualidade do ar e o conforto olfativo (Lamberts et al., 2014, p.43).

consequente, o estudo climático abrange tanto a definição dos fatores que originam o clima, desde grandes regiões até pequenas localidades, quanto a representação dos valores relativos a cada tipo de clima. Como exposto por GIVONI (apud Romero, 2000, p.1):

Givoni (1976) diz o clima de uma dada região é determinado pelo padrão das variações dos vários elementos e suas combinações, destacando que os principais elementos climáticos que devem ser considerados no desenho dos edifícios e no conforto humano são: radiação solar, comprimento de onda da radiação, temperatura do ar, umidade, ventos e precipitações.

Logo, através do estudo metuculoso da relação entre os fatores e elementos climáticos predominantes em regiões de baixa latitude – comumente definidas por climas quentes e úmidos – consegue-se identificar os efeitos adversos que tais condições do clima podem exercer sobre o ambiente construído e sobre as sensações térmicas humanas. Ao definir essas conexões, delineiam-se métodos projetuais que favoreçam a atenuação desses impactos indesejáveis, através do emprego de soluções arquitetônicas cabíveis às condições regionais.

Portanto, ao buscar compreender como os condicionantes do clima tropical quente e úmido podem favorecer a sustentabilidade, torna-se fundamental entender os princípios que regem esse clima e identificar os aspectos que devem ser controlados no ambiente construído. Assim Sendo, adotou-se a distinção teórica entre fatores climáticos e elementos climáticos, proposto por Romero (2000).

Fatores climáticos

Estabelecidos como agentes encarregados de condicionar, determinar e influenciar a formação do clima, os fatores climáticos se subdividem em duas classes principais: fatores climáticos globais e fatores climáticos locais.

Fatores climáticos globais

São fatores que atuam na definição do clima de regiões extensas, englobam variáveis de grande escala e são responsáveis pela configuração das zonas climáticas do planeta. Como explicita Romero (2000, p.3), “Fatores climáticos globais

são aqueles que condicionam, determinam e dão origem ao clima, ou seja, radiação solar, latitude, longitude, altitude, ventos e massas de água e terra”.

Radiação Solar

É a energia emitida pelo sol através de ondas eletromagnéticas, sendo elementar para existência terrestre. Ao alcançar a atmosfera, de acordo com a lonjura entre a terra e o sol e as atividades solares, essa radiação apresenta uma média de 1,97 cal/cm²/min, chamada constante solar.

Deste modo, a intensidade da radiação solar que incide na superfície terrestre depende da densidade e da transparência atmosférica, sendo afetada por condicionantes como a presença de nuvens, poeira, dióxido de carbono e vapor d'água. Como explica Romero (2000), ao transpassar a camada atmosférica, as ondas eletromagnéticas apresentam perda de intensidade e variação espectral devido aos processos de absorção, reflexão e difusão. Assim, a quantidade de energia absorvida ou refletida pelas superfícies varia conforme suas características físicas e cor.

Latitude, longitude e altitude

Fundamentada em linhas imaginárias dispostas sobre o globo, a latitude, longitude e altitude são coordenadas geográficas essenciais para precisar qualquer ponto na superfície terrestre. Porém, suas funções transcendem a localização espacial, influenciando diretamente os padrões climáticos de diferentes regiões do planeta.

Latitude

Diretamente relacionada à quantidade de radiação solar recebida pela terra, a latitude notabiliza-se por ser o principal agente geográfico capaz de caracterizar as condições climáticas. Geralmente, quanto maior a proximidade com a linha do Equador, maior incidência de energia solar durante do ano, sucedendo temperaturas mais elevadas e menor amplitude térmica diária.

Contudo, embora haja indubitável conexão entre latitude e clima, essa relação não é absoluta. Romero (2000) realça que numa superfície terrestre

completamente uniforme, tal correlação poderia ser linear. Todavia, a complexidade geográfica da superfície terrestre — como relevo, correntes marítimas, ventos e, especialmente, a capacidade térmica diferenciada entre terra e água — influenciam consideravelmente no padrão de distribuição térmica do planeta. A água, com seu elevado calor específico, é capaz de absorver e liberar calor de forma mais lenta e gradual que a terra, exercendo um efeito estabilizador sobre as temperaturas nas regiões costeiras e adjacentes a grandes massas d'água. Logo, essas complexidades são responsáveis por amenizar as amplitudes térmicas diurnas e sazonais.

Altitude

A altitude, por sua vez, é outro agente fundamental na definição do clima. Atribuída sempre em relação ao nível do mar, ela influencia diretamente a temperatura do ar atmosférico. Essa ocorrência está relacionada a densidade do ar, ou seja, em altitudes elevadas o ar é menos denso e retém menos calor. Conseqüentemente, verifica-se uma diminuição da temperatura em um gradiente térmico vertical médio aproximado de 1°C a cada 200 metros de elevação.

Essa constância relativa do gradiente térmico com a altitude permite explicar fenômenos climáticos peculiares em áreas de grande elevação, como o altiplano peruano e as montanhas da Lua na África Oriental. Como expõe Romero (2000), apesar de se localizarem em latitudes equatoriais — onde normalmente predominariam florestas tropicais úmidas —, essas regiões apresentam clima frio, com neblinas glaciais e vegetação característica de tundra alpina, evidenciando a força da altitude como modulador climático.

Longitude

Distinta da latitude e altitude, a longitude não desempenha ação direta sobre os elementos do clima. Sua função, majoritária, relaciona-se à localização geográfica e ao fuso horário, tendo pouca ou nenhuma implicação sobre variáveis como temperatura, umidade ou precipitação.

Ventos

Uma expressão direta das variações barométricas, o vento é oriundo de desequilíbrios atmosféricos. Conforme expõe Ferreira (apud ROMERO, 2000, p.8) suas causas essenciais: “[...] são a heterogeneidade do globo terrestre do ponto de vista da absorção local da energia solar e da diversidade nas trocas energéticas no interior das próprias correntes gasosas ou nas suas proximidades”.

Em termos físicos, o vento provém do movimento de correntes de convecção atmosféricas que visam amenizar o aquecimento diferencial entre regiões distintas da superfície da terra. Esses movimentos convectivos são influenciados pela radiação solar e rotação da Terra. Villas Boas (apud ROMERO, 2000, p.8) argumenta que:

A diferença de pressão ou de temperatura, entre dois pontos da atmosfera gera um fluxo de ar, que se desloca das regiões mais frias (baixa pressão) para as regiões mais quentes (alta pressão), condição em que, somada à força mecânica gerada pelo movimento de rotação da Terra (Força de Coriolis), define a próxima circulação geral da atmosfera.

Consoante com Romero (2000), na região de maior incidência de radiação solar – a faixa entre os trópicos de Câncer e Capricórnio –, o ar aquecido pela energia solar se torna menos denso e desloca-se verticalmente em direção às zonas mais frias da camada atmosférica. Subsequentemente, parte desse ar resfria e desce nas zonas subtropicais, deslocando-se novamente em direção ao Equador.

Esse ciclo atmosférico global estabelece que a maioria das regiões vivenciem transformações estacionais não apenas nos padrões de temperatura, mas também na orientação do vento e das chuvas. Contudo, além dos deslocamentos das massas de ar numa escala global, o clima local também é consideravelmente afetado por ventos de menor escala, oriundos dos diferenciais térmicos entre superfícies com características distintas, como terra e água, vales e montanhas.

Um exemplo da atuação de sistemas de ventos diários nos trópicos são as brisas terrestres e marítimas, originadas pelas diferenças de temperatura entre o continente e o mar. Tais ventos apresentam comportamento cíclico e são mais frequentes e intensos em regiões tropicais, constituindo importantes reguladores térmicos locais.

Massas de água e terra

Segundo Romero (2000), a relação entre a proporção de massas continentais e corpos d'água em um dado território afeta direta e significativamente as propriedades do clima. As áreas continentais apresentam maiores variações térmicas, mesmo ao longo de uma mesma latitude. Em contrapartida, regiões litorâneas e insulares, tendem a experimentar climas mais estáveis, em virtude da influência moderadora exercida pelas massas de água adjacentes.

Essa mudança de comportamento térmico resulta da capacidade específica de calor da água, consideravelmente superior à da terra. A água aquece e esfria mais vagarosamente, exercendo o papel de regulador térmico natural. Desta forma, corpos d'água atenuam as amplitudes térmicas intensas, principalmente em localidades costeiras e insulares, agregando para baixa amplitude térmica dessas regiões. Essa função estabilizadora é particularmente evidente em episódios de frio noturno, quando a radiação térmica residual de lagos e oceanos impede a formação de geada em suas proximidades imediatas.

As elevações topográficas também afetam o clima regional, ao intervirem nos movimentos de ar úmido. Conforme explica Romero (2000, p.10), essas superfícies:

Geralmente forçam as massas de ar úmidas a subir e, neste processo, o ar esfriado provoca a condensação. Como resultado, as massas de ar descarregam a maioria de sua umidade (na forma de chuva, granizo ou neve) no lado mais quente da área. Este fenômeno produz a chamada sombra de chuva.

Fatores climático locais

Referem-se às características que exercem influência sobre o microclima, ou seja, o clima de áreas limitadas, como bairros, ruas ou parcelas urbanas. Conforme aponta Ferreira (1965, apud Romero, 2000), esses fatores geram variações no clima e, de acordo com Lynch (1980, apud Romero, 2000), a configuração das superfícies pode alterar as condições climáticas em escala local.

Romero (2000, p.11) explana que, "Os fatores climáticos locais são aqueles fatores que condicionam, determinam e dão origem ao microclima, isto é, ao clima que

se verifica num ponto restrito (cidade, bairro, rua etc.), tais como a topografia, a vegetação e a superfície do solo natural ou construído”.

Topografia

A topografia resulta da ação articulada de processos geológicos e biológicos ao longo do tempo. Conforme destaca Lynch (apud Romero, 2000, p. 11), um dos principais fatores que caracterizam as variações na superfície terrestre é a presença ou ausência de água. Dessa forma, elementos como o teor de umidade do solo, sua capacidade de drenagem e a posição do lençol freático constituem aspectos essenciais a serem analisados.

A topografia também desempenha profunda influência sobre os fluxos atmosféricos. A orientação, a força e a umidade das massas de ar são condicionadas pelas irregularidades do relevo, que podem desviar, canalizar ou interromper esses fluxos.

Vegetação

A vegetação exerce função crucial na regulação dos microclimas urbanos e naturais, atuando diretamente no controle das condições térmicas e na qualidade do ar. Através do processo de fotossíntese, as plantas liberam vapor d'água na atmosfera, cooperando para a umidificação do ar e para a redução da temperatura ambiente. Ademais, a vegetação atenua os extremos térmicos, propiciando maior estabilidade climática nas imediações onde se faz presente.

Do ponto de vista energético, áreas vegetadas absorvem a energia solar de forma mais eficaz e, em comparação com superfícies impermeáveis ou construídas, irradiam uma quantidade consideravelmente menor de calor. Como descreve Romero (2000, p. 13):

Um espaço gramado pode absorver maior quantidade de radiação solar e, por sua vez, irradiar uma quantidade menor de calor que qualquer superfície construída, uma vez que grande parte da energia absorvida pelas folhas é utilizada para seu processo metabólico, enquanto em outros materiais toda a energia absorvida é transformada em calor.

Superfície do solo

O estudo da superfície do solo é vital para o entendimento dos processos microclimáticas urbanos e pode ser conduzida a partir de dois aspectos principais: o solo natural e o solo construído.

O solo natural fornece dados essenciais sobre seu potencial hídrico, arranjo granulométrica (areias e cascalhos), erosão e propriedades térmicas. O conhecimento desses fatores permite a determinação de índices de reflexão ou absorção da energia solar, como o albedo, entendido como a proporção entre a radiação solar incidente e a refletida pela superfície.

Em contrapartida, o estudo do solo edificado, realça sua influência para o processo de urbanização. A comutação da cobertura vegetal por superfícies impermeabilizadas modifica substancialmente a oscilação térmica regional. O tecido urbano tende a reter calor durante o dia e irradiá-lo durante a noite, intensificando o fenômeno da ilha de calor urbana.

Segundo Lynch (apud Romero, 2000), superfícies com baixo albedo e elevada condutividade térmica viabilizam microclimas com maior estabilidade, pois absorvem o calor diurno e o liberam gradualmente quando as temperaturas diminuem. Em compensação, superfícies com alto albedo e baixa condutividade térmica intensificam os contrastes térmicos, contribuindo para microclimas mais intensos. Elementos naturais como o mar, vales e solos úmidos, por sua vez, desempenham papel atenuante nas variações térmicas, propiciando maior equilíbrio climático.

Elementos climáticos

Concerne aos condicionantes climáticos mensuráveis, eles são a expressão prática das interações entre os diversos fatores climáticos e são essenciais para estabelecer soluções projetuais de ventilação, sombreamento, orientação solar e isolamento térmico. Como elucida Romero (2000, p. 15), “Os elementos climáticos são aqueles que representam os valores relativos a cada tipo de clima, ou seja, a temperatura, a umidade do ar, as precipitações e os movimentos do ar”.

Temperatura

A incidência da radiação solar sobre a superfície da terra acontece de maneira multiforme. Esse fenômeno decorre da inclinação do eixo terrestre, da esfericidade do planeta e da variação dos tipos de cobertura superficial, associadas aos diferentes coeficientes de absorção térmica das superfícies.

Essa heterogeneidade energética é responsável pela geração de importantes dinâmicas atmosféricas, como os movimentos de massas de ar e as correntes marinhas, além de promover intensas trocas de matéria e energia entre ar, o mar e as porções de terra, ocasionando a evaporação da água dos oceanos e a formação de precipitações.

Nessa conjunção, a temperatura é um dos principais parâmetros do ambiente térmico e influencia diretamente a percepção de conforto dos indivíduos. Ela representa o grau de agitação das moléculas e pode ser observada sob diferentes formas no ambiente construído. Duas das mais relevantes para o conforto térmico são a temperatura do ar e a temperatura radiante, ambas com funções distintas, porém complementares.

A temperatura do ar refere-se à quantidade de calor presente nas moléculas do ar ambiente, sendo normalmente medida por termômetros convencionais. Ela influencia o corpo humano por meio da troca de calor por convecção, ou seja, pelo contato direto entre o ar e a pele. No entanto, essa medida, isoladamente, não é suficiente para representar fielmente a sensação térmica percebida em um espaço.

A temperatura radiante corresponde à média ponderada do calor emitido ou absorvido pelas superfícies ao redor, como paredes, janelas e pisos. Essa temperatura atua por radiação e pode intensificar ou reduzir a sensação de calor, mesmo quando a temperatura do ar permanece constante.

Umidade do ar

O vapor d'água atmosférico deriva principalmente da evaporação das águas superficiais e da evapotranspiração das plantas. Segundo Frota; Schiffer (2001, p.63):

Como definição de umidade absoluta tem-se que é o peso do vapor de água contido em uma unidade de volume de ar (g/m^3), e a umidade relativa é a relação da umidade absoluta com a capacidade máxima do ar de reter vapor d'água, àquela temperatura. Isto equivale a dizer que a umidade relativa é uma porcentagem da umidade absoluta de saturação.

Sua concentração no ar está diretamente relacionada à temperatura, em geral, quanto mais quente, maior a capacidade do ar de reter vapor. Segundo Frota; Schiffer (2001, p.67):

A grande diferenciação que o grau de umidade relativa do ar acarreta nas condições climáticas de um local é quanto à amplitude da temperatura diária. Isto equivale a dizer que quanto mais seco for o clima, mais acentuadas serão sua temperatura extremas (mínimas e máximas).

A distribuição de vapor d'água na atmosfera é heterogênea, sendo mais elevada nas regiões equatoriais — onde ocorre maior incidência de radiação solar — e reduzida nas zonas polares. A pressão de vapor e a umidade absoluta variam conforme a localidade e as estações do ano, apresentando valores mais altos no verão e mais baixos no inverno.

A altitude também influencia significativamente esses parâmetros. Como observa Givoni (apud Romero, 2000), o conteúdo de vapor d'água diminui com a elevação da altitude, sendo mais concentrado nas camadas próximas à superfície terrestre.

Dessa forma, temperatura, altitude e variações sazonais são os principais fatores que regulam a distribuição do vapor d'água na atmosfera, impactando diretamente a sensação de conforto dos indivíduos.

Precipitações

A precipitação provém da condensação do vapor d'água na atmosfera, formando nuvens. A chuva convectiva é habitual em localidades tropicais e acontece quando massas de ar úmido aquecidas sobem, se resfriam e condensam, liberando calor latente. Esse tipo de precipitação comumente intensa e de curta duração, também pode ser causada por massas de ar marítimo que avançam sobre superfícies continentais mais aquecidas.

A precipitação é parte integrante do ciclo hidrológico, redistribuindo a água evaporada dos oceanos e continentes, que regressa através de chuvas, neve, granizo, orvalho ou geada. Essa água, ao atingir o solo, escoar por rios e córregos, completando o ciclo.

Segundo Romero (2000), a distribuição da precipitação é desigual, sendo mais intensa nas zonas equatoriais e relativamente equilibrada nos subtrópicos — em ambos os hemisférios. Conforme se avança em direção aos polos, a precipitação apresenta máximos secundários, especialmente ao longo das trajetórias dos ciclones extratropicais, nas faixas dominadas pelos ventos polares do oeste.

Nos trópicos, a retenção de água pelo solo é baixa, pois a evaporação aumenta com a temperatura e o vento, especialmente à tarde. Nessas condições, parte da chuva pode evaporar antes mesmo de infiltrar-se, reduzindo sua eficácia no abastecimento hídrico.

2.1.2. Bioclimatologia aplicada ao clima quente e úmido

Após a compreensão das condicionantes climáticas, é necessário analisar os impactos desses fatores no projeto arquitetônico e em seu desempenho energético. Nesse sentido, é fundamental identificar como as estratégias arquitetônicas podem minimizar os impactos adversos do clima, contribuindo para a criação de espaços que favoreçam o conforto térmico dos usuários.

De acordo com Romero (2000), em clima quente e úmido, a arquitetura demanda estratégias específicas capazes de mitigar os efeitos da alta temperatura, da umidade relativa elevada e das intensas precipitações. Para alcançar o equilíbrio térmico entre o ambiente construído e o usuário, é essencial adotar soluções projetuais que favoreçam a ventilação natural, o sombreamento eficiente e a proteção contra chuvas e inundações.

Desta forma, a arquitetura vernacular emerge como uma valiosa referência, pois desenvolveu, ao longo do tempo, soluções adaptadas às condições locais com base na observação empírica e na experiência acumulada por gerações. Lamberts et al. (2014, p. 8) reforça que “A ARQUITETURA VERNACULAR, que é genuína, correta, pura e isenta de estrangeirismos (Ferreira 1999), ensina muitas técnicas, conceitos e princípios bioclimáticos e sustentáveis que podem ser empregados em edificações que persigam a alta eficiência energética”.

Nessa conjuntura, Rapoport (apud Romero, 2000) ao analisar a arquitetura vernacular indígena, destaca que a edificação é elevada sobre pilotis, o que favorece a ventilação inferior e protege contra inundações e animais. Ademais, a ausência de vedações verticais contínuas e a presença de amplos beirais permitem ventilação constante em todos os ambientes internos.

Rapoport (apud Romero, 2000), salienta que a cobertura se configura como o principal elemento arquitetônico, funcionando como um grande para-sol impermeável, com inclinação acentuada para facilitar o escoamento das chuvas intensas, além de ser opaca à radiação solar e leve o suficiente para evitar o acúmulo e a reemissão de calor. Tal conhecimento empírico é corroborado por Frota; Schiffer (2001, p.71), “A cobertura deve [...] ser de material com inércia média, mas com elementos isolantes, ou espaços de ar ventilados, os quais têm como

característica retirar o calor que atravessa as telhas que, deste modo, não penetrará nos ambientes”.

Por fim, destaca-se que a ventilação natural é fundamental para o conforto térmico, sendo necessário dimensionar adequadamente as aberturas para permitir a renovação do ar nos períodos em que a temperatura externa é mais amena. Essas aberturas devem ser protegidas da radiação solar direta, sem impedir o acesso dos ventos. Da mesma forma, a vegetação deve ser planejada para fornecer sombra, sem bloquear a circulação do ar, considerando-se, para isso, a altura adequada das copas (Frota; Schiffer, 2001).

2.1.3. Estratégias bioclimáticas

Ventilação natural

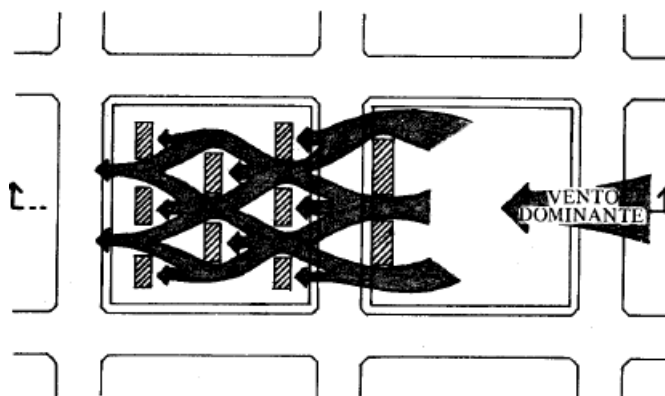
A ventilação natural configura-se das estratégias bioclimáticas mais relevantes para o contexto brasileiro, singularmente em regiões de clima quente e úmido. Essa abordagem desempenha um papel essencial tanto na renovação do ar quanto na dissipação do calor acumulado, proveniente da radiação solar e de fontes internas. Desta forma, contribui diretamente para a higiene dos ambientes e para a promoção do conforto térmico, sobretudo nos períodos mais quentes do ano (Lamberts et al., 2014; Frota; Schiffer, 2001).

Conforme explicita Souza (2016, p.87), em regiões com clima tropical quente e úmido em regiões de baixa latitude “A alta umidade e suor causam sensação de desconforto. Este efeito pode ser amenizado através da ventilação, que diminui a umidade e provoca maior conforto humano”.

A ventilação natural nos ambientes está diretamente relacionada à orientação e à implantação da edificação no terreno. O aproveitamento adequado dos ventos predominantes, especialmente durante o verão, é essencial para favorecer o resfriamento dos espaços internos de forma passiva. Segundo Frota; Schiffer (2001, p.71):

No que se refere ao arranjo das edificações nos lotes urbanos, elas devem estar dispostas de modo a permitir que a ventilação atinja todos os edifícios e possibilite a ventilação cruzada nos seus interiores. Isto significa que o partido arquitetônico deve prever construções alongadas no sentido perpendicular ao vento dominante.

Figura 1 - Esquema de ventilação urbana em climas úmidos



Fonte: Frota; Schiffer (2001, p.71)

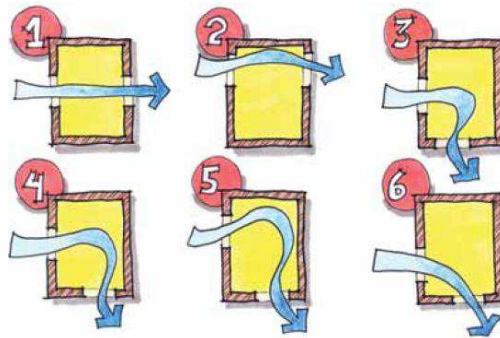
Cabe ressaltar que a ventilação natural também pode ser influenciada por componentes externos ao edifício. Superfícies como muros, beirais, venezianas, e até a vegetação desempenham um papel importante ao direcionar, intensificar, desviar ou mesmo filtrar o fluxo de ar antes que ele atinja as aberturas, contribuindo para uma ventilação mais eficiente e adaptada às condições do entorno (Lamberts et al., 2014).

Ventilação Cruzada

Conforme Lamberts et al. (2014), em regiões de clima quente e úmido, a ventilação cruzada configura-se como uma das estratégias mais simples e acessíveis para promover o conforto térmico nas edificações. Essa técnica consiste na criação de duas ou mais aberturas em paredes opostas ou adjacentes, permitindo que o ar atravesse o ambiente, favorecendo a renovação constante do ar interno.

Sua eficácia está diretamente relacionada ao correto posicionamento dessas aberturas em função da direção dos ventos predominantes, especialmente nos períodos mais quentes do ano. No entanto, é importante considerar que, ao permitir essa intensa troca de ar, a ventilação cruzada também faz com que a temperatura interna acompanhe, em grande parte, as oscilações da temperatura externa.

Figura 2 - Ventilação Cruzada



Fonte: Lamberts et al., 2014.

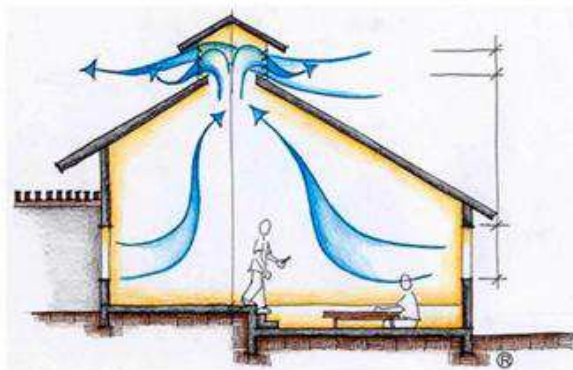
Ventilação por “efeito chaminé”

A análise da ventilação por efeito chaminé fundamenta-se nas diferenças de pressão geradas pelas variações de temperatura entre o ar interno e o ar externo à edificação. Quando o interior do edifício é aquecido devido aos ganhos de calor, o ar interno eleva sua temperatura, tornando-se menos denso e, conseqüentemente, tende a subir (Frota; Schiffer, 2001).

De acordo com Frota e Schiffer (2001), se o ambiente dispuser de aberturas localizadas próximas ao piso e teto, ou no próprio teto, estabelece-se um fluxo natural: o ar mais quente tende a escapar pelas aberturas superiores, enquanto o ar mais frio do exterior entra pelas aberturas inferiores, promovendo a renovação do ar.

Vale destacar que esse movimento será mais eficiente quanto maior for a diferença vertical entre as aberturas de entrada e saída, favorecendo um fluxo de ar mais intenso e contínuo (Projeteee, 2025).

Figura 3 - Efeito Chaminé

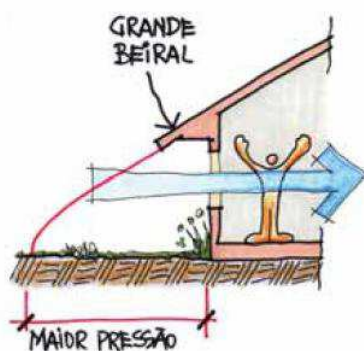


Fonte: PROJETEEE, 2025.

Elementos de condução e filtragem da ventilação natural

Como abordado, a ventilação natural pode ser significativamente potencializada através de componentes externos ao edifício. Dentre esses componentes, notabilizam-se os beirais e os protetores solares, que além da função de sombreamento, podem auxiliar no redirecionamento do fluxo de ar para o interior dos ambientes. Ao amplificar a zona de pressão na adjacência das aberturas, esses dispositivos favorecem o aumento da ventilação, principalmente em fachadas voltadas aos ventos predominantes (Lamberts et al., 2014).

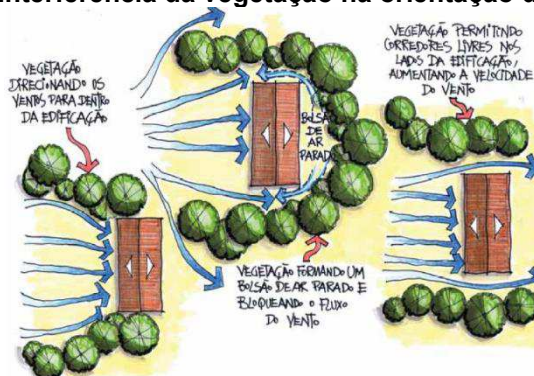
Figura 4 - Interferência dos beirais amplos na orientação do fluxo de ar



Fonte: Lamberts et al., 2014.

Muros, fachadas externas e recursos paisagísticos também desempenham papel importante na modulação da ventilação natural. Árvores podem atuar como barreira ou condutora dos fluxos de ar, protegendo os ambientes internos contra a ventilação indesejável ou excessivamente forte (Lamberts et al., 2014).

Figura 5 - Interferência da vegetação na orientação do fluxo de ar



Fonte: Lamberts et al., 2014.

Os elementos vazados configuram-se como constituintes arquitetônicos que oportunizam a circulação controlada do ar, atenuando a intensidade dos ventos indesejáveis, assegurando uma ventilação contínua, podendo ainda funcionar como protetores solar, resfriando a parede externa e conseqüentemente, o espaço interno. Conforme Martino (2022), sua aplicabilidade conserva a permeabilidade visual, promovendo a privacidade dos usuários e a conexão entre os espaços internos e externos, sem comprometer as condições de conforto ambiental. Holanda (2018, p.25) sugere que:

Combinemos as paredes compactas com os panos vazados, para que filtrem a luz e deixem a brisa penetrar.

Tiremos partido das imensas possibilidades construtivas e plásticas do elemento vazado de parede — o cobogó — que pode assumir uma ampla gama de configurações entre filigrana e carcado jogo de relevos.

Figura 6 - Quebra vento com elemento vazado



Fonte: Lamberts et al., 2014.

Sombreamento

Segundo Frota e Schiffer (2001), em regiões de clima predominantemente quente a adoção de soluções que evitem a incidência direta da radiação solar sobre as edificações e o ingresso excessivo de calor nos ambientes internos, colaboram consideravelmente para a atenuação dos ganhos térmicos indesejados e para a promoção do conforto ambiental.

Lamberts et al. (2014) esclarece que no contexto brasileiro, onde uma parcela significativa do território apresenta alta exposição solar ao longo do ano, o sombreamento configura-se como uma das estratégias bioclimáticas mais indicadas,

sendo fulcral para o controle térmico passivo das construções. Holanda (2018, p. 21) elucida que:

[...] Estudemos cuidadosamente a insolação das fachadas, identificando os caminhos do sol sobre nossas cidades durante o ano, para desenharmos proteções eficientes; proteções que, além de sombrearem as fachadas, permitam a renovação do ar dos ambientes, mesmo durante chuvas pesadas.

Nessa perspectiva, o sol — além de ser fonte de calor — desempenha um papel fundamental ao proporcionar iluminação natural aos ambientes internos. Destarte, o sombreamento deve ser ponderadamente planejado, considerando que a presença da luz solar pode ser benéfica, especialmente quando bem direcionada e controlada (Frota; Schiffer, 2001; Lamberts et al., 2014).

Segundo Lamberts et al. (2014) as principais estratégias de sombreamento envolvem a adoção de elementos como proteções solares, beirais amplos, marquises, sacadas, além de elementos internos como persianas e venezianas. Segundo Holanda (2018, p. 29):

Retomemos a lição de Le Corbusier e protejamos as aberturas externas com projeções e quebra-sóis, para que, abrigadas e sombreadas, possam permanecer abertas.

Protetores solares

Frota e Schiffer (2001) elucidam que os quebra-sóis são estratégias de sombreamento de grande relevância no planejamento do conforto térmico, pois contribuem significativamente para a regulação das cargas térmicas internas do ambiente construído. Segundo Rosario (2006, p.101):

Os protetores solares são utilizados com a finalidade de impedir a incidência da radiação solar direta nos ambientes internos promovendo o sombreamento e evitando-se maiores ganhos térmicos e assim reduzindo a necessidade do consumo energético. Devendo-se tomar o cuidado de não prejudicar o iluminamento e a ventilação internos.

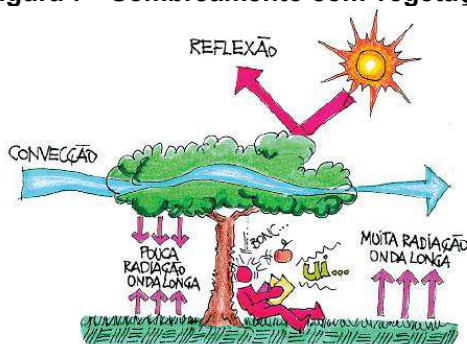
Sombreamento com vegetação

A inserção de cobertura vegetal como recurso de sombreamento configura uma solução eficiente para o controle da radiação solar, uma vez que funciona como

obstáculo natural à incidência direta da luz solar. Em áreas com cobertura vegetal densa, é possível atenuar consideravelmente a radiação incidente sobre o solo, contribuindo para a amenização das temperaturas. Isso se deve tanto à absorção da radiação pelas plantas durante processos metabólicos (fotossíntese), quanto à menor emissão de calor para o entorno. Ademais, cabe ressaltar, que a ventilação promovida entre as folhagens, potencializa a dispersão do calor acumulado (Lamberts et al., 2014).

Portanto, para que a vegetação desempenhe adequadamente sua função de sombreamento, é essencial que sua implantação considere o porte das espécies e a variação das sombras ao longo do ano. Conforme Frota e Schiffer (2001), em climas úmidos — onde a ventilação natural é crucial para o conforto térmico — a vegetação não deve obstruir a passagem dos ventos. Em vista disso, as copas devem estar elevadas, permitindo sombra no solo sem comprometer a circulação do ar. Holanda (2018, p. 47) sugere que “Rejeitemos os jardins de vegetação delicada e miúda, arrumada sobre bem-comportados gramados e acolhamos o caráter selvático e agigantado da natureza tropical”.

Figura 7 - Sombreamento com vegetação

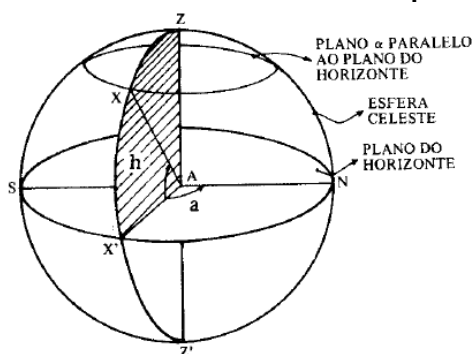


Fonte: Lamberts et al., 2014

Prateleira de Luz:

A prateleira de luz é um elemento arquitetônico horizontal utilizado para potencializar a iluminação natural no interior dos ambientes. Ao dividir a janela em duas partes, sua superfície superior projeta a luz incidente para o teto, promovendo uma distribuição mais homogênea e profunda, enquanto reduz a entrada direta de radiação solar na parte inferior. Seu desempenho está diretamente relacionado à correta orientação em relação ao sol e ao adequado dimensionamento, especialmente

Figura 9 - Altura e azimute de um corpo celeste



Fonte: Frota; Schiffer, 2001

Existem três tipos principais de brises, de acordo com sua orientação: horizontais, verticais e mistos. Conforme elucidado por Rosario (2006, p.104):

Em São Luís, os brises horizontais promovem o sombreamento nas aberturas voltadas para o leste e para o oeste e, principalmente, durante o meio-dia, que a incidência é quase perpendicular ao solo. Já os verticais protegem as aberturas direcionadas para o norte e para o sul, ou seja, nos períodos da manhã e da tarde. Os mistos são utilizados no caso de aberturas que recebem muita insolação durante todo o dia, no caso desta cidade, seriam as aberturas direcionadas para o norte.

2.1.4. Propriedades térmicas dos elementos construtivos

O desempenho térmico dos materiais e componentes construtivos está fundamentalmente associado às suas características físicas. Os elementos construtivos apresentam comportamentos distintos diante da radiação térmica incidente, podendo refletir, absorver, transmitir ou até mesmo reemitir parte dessa energia para o interior dos ambientes (Lamberts et al., 2014).

Nessa conjuntura, entender como esses elementos interagem com a incidência solar e com as trocas de calor é precípuo para que o dimensionamento adequado das aberturas e seleção dos materiais mais apropriados ao conforto térmico do edifício.

Absortividade (α) e Emissividade (ϵ)

Conforme Lamberts et al. (2014), a absortividade é a capacidade de uma superfície em reter a radiação solar incidente, sendo diretamente influenciada por sua

cor: superfícies escuras tendem a absorver maior quantidade de energia, enquanto as claras refletem a maior parte.

Em contrapartida, a emissividade diz respeito à eficiência com que um material, após ser aquecido, emite radiação térmica para o ambiente. Lamberts et al., 2014, p. 209) esclarece que:

A emissividade é uma propriedade física dos materiais que diz qual a quantidade de energia térmica é emitida por unidade de tempo. É importante destacar que esta propriedade pertence à camada superficial do material emissor. Os materiais de construção podem ser organizados em dois grupos bem definidos: os metálicos, com baixas emissividades, compreendidas entre 0,05 e 0,30 e os não metálicos, com altas emissividades, que variam de 0,85 a 0,90.

Tabela 1 - Absortividade dos materiais

TIPO DE SUPERFÍCIE		α	ϵ
Chapa de alumínio (nova e brilhante)		0,05	0,05
Chapa de alumínio (oxidada)		0,15	0,12
Chapa de aço galvanizada (nova e brilhante)		0,25	0,25
Caiçação nova		0,12 / 0,15	0,90
Concreto aparente		0,65 / 0,80	0,85 / 0,95
Telha de barro		0,75 / 0,80	0,85 / 0,95
Tijolo aparente		0,65 / 0,80	0,85 / 0,95
Reboco claro		0,30 / 0,50	0,85 / 0,95
Revestimento asfáltico		0,85 / 0,98	0,90 / 0,98
Vidro comum de janela		transparente	0,90 / 0,95
Pintura:	branca	0,20	0,90
	amarela	0,30	0,90
	verde claro	0,40	0,90
	“alumínio”	0,40	0,50
	verde escuro	0,70	0,90
	vermelha	0,74	0,90
	preta	0,97	0,90

Fonte: Lamberts et al., 2014.

Refletividade (ρ) e transmissividade (τ):

A refletividade (ρ) corresponde à fração da radiação solar que é devolvida pela superfície do material, enquanto a transmissividade (τ) indica a parcela que atravessa materiais translúcidos ou transparentes, alcançando diretamente o ambiente interno. Essas propriedades, juntamente com a absortividade, determinam o comportamento da radiação ao incidir sobre elementos construtivos. (Lamberts et al., 2014)

Condutividade térmica (λ)

Segundo Lamberts et al. (2014), a condutividade térmica é a propriedade que define a capacidade de um material em conduzir de calor, ao longo do tempo. Em geral, materiais menos densos apresentam menor condutividade térmica.

Lamberts et al. (2014, p. 210) elucida que: “[...] quanto maior for a condutividade térmica de um material, maior será a quantidade de calor transferida entre as suas superfícies e, conseqüentemente, menor será a sua resistência térmica”.

Tabela 2 - Condutividade térmica dos materiais

MATERIAL	λ (W/m K)
Concreto normal, densidade de 2.200 a 2.400 kg/m ³	1,750
Tijolo de barro, densidade de 1.000 a 1.300 kg/m ³	0,700
Madeira, densidade de 450 a 600 kg/m ³	0,150
Isopor, densidade de 25 a 40 kg/m ³	0,035

Fonte: Lamberts et al., 2014.

Resistência térmica (R)

A resistência térmica corresponde à capacidade de um material em dificultar a passagem de calor através de sua massa. Esse desempenho tende a aumentar proporcionalmente à espessura do material (Lamberts et al., 2014).

Transmitância térmica (U)

Oposto da resistência térmica, a transmitância térmica é a grandeza que indica a capacidade de um fechamento opaco em permitir a passagem de calor. Conforme Lamberts et al. (2014), trata-se de um parâmetro essencial para avaliar o desempenho térmico de fechamentos opacos e comparar diferentes soluções de envoltória.

Tabela 3 - Transmitância térmica dos materiais

Elemento	Tipo	U (W/m ² K)
Paredes	Tijolo. 6 furos esp. 12,5cm	2,39
	Tijolo. 6 furos esp. 17cm (deitado)	2,08
	Tijolo. 8 furos rebocado 12,5cm	2,49
	Tijolo. 4 furos rebocado 12,5cm	2,59
	Tijolo. maciço aparente 9cm	4,04
	Tijolo maciço rebocado 12cm	3,57
	Tijolo maciço rebocado 26cm	2,45
Janelas	Vidro comum 3mm	5,79
Coberturas	Laje concreto 10cm + fibrocimento	
	verão - não ventilado	2,04
	verão - bem ventilado	2,04
	inverno - não ventilado	2,86
	inverno - bem ventilado	3,89
	Laje concreto 10cm + cerâmica	
	verão - não ventilado	2,04
	verão - bem ventilado	2,04
	inverno - não ventilado	2,87
	inverno - bem ventilado	3,89
	Forro pinus 1cm + fibrocimento	
	verão - não ventilado	2,00
	verão - bem ventilado	2,00
	inverno - não ventilado	2,79
	inverno - bem ventilado	3,75
	Forro pinus 1cm + cerâmica	
	verão - não ventilado	2,01
	verão - bem ventilado	2,01
	inverno - não ventilado	2,79
	inverno - bem ventilado	3,75
	Forro pinus 1cm + fibrocimento + alumínio polido	
	Verão - não ventilado	1,11
	Verão - bem ventilado	1,11
	Inverno - não ventilado	2,04
Inverno - bem ventilado	3,75	

Fonte: Lamberts et al., 2014.

Influência das propriedades térmicas nos fechamentos opacos

De acordo com Lamberts et al. (2014), nos fechamentos opacos, como paredes e coberturas, a transferência de calor ocorre principalmente por condução, motivada pela diferença de temperatura entre as superfícies interna e externa. Em climas quentes, a radiação solar aquece a face externa, provocando o fluxo de calor para o interior da edificação.

Materiais com baixa densidade se destacam como isolantes térmicos eficientes, pois a presença de porosidade e ar em seu interior reduz a condução térmica. A inércia térmica é um aspecto fundamental, pois materiais que armazenam e liberam calor gradualmente ajudam a equilibrar a temperatura interna, especialmente em locais com variações térmicas acentuadas. Além disso, a orientação solar das superfícies opacas impacta diretamente o desempenho térmico, sendo as paredes voltadas para o poente mais suscetíveis ao aquecimento, o que demanda estratégias específicas de proteção solar (Lamberts et al., 2014).

Influência das propriedades térmicas nos fechamentos transparentes
































Segundo Lamberts et al. (2014), as superfícies translúcidas — como janelas e claraboias compostas principalmente por materiais como vidro, policarbonato e similares — têm papel relevante nas trocas térmicas das edificações, principalmente por permitirem a entrada direta da radiação solar, que se torna o principal agente de ganho térmico nesses elementos. A quantidade de calor transmitida ao interior está diretamente relacionada à transmissividade do vidro, característica que influencia significativamente o desempenho térmico. Além disso, o controle das aberturas possibilita a regulação do fluxo de ar e da entrada de calor, contribuindo para a melhoria do conforto térmico no ambiente interno.

Para alcançar um desempenho térmico e luminoso eficiente, é fundamental considerar variáveis como a orientação solar, as dimensões das aberturas, o tipo de vidro adotado e o uso de dispositivos de sombreamento. A orientação das fachadas influencia diretamente a intensidade da radiação solar ao longo do dia. Além disso, o tipo de vidro utilizado pode atenuar significativamente o ganho térmico quando associado a tratamentos específicos, sem prejudicar a entrada de luz natural (Lamberts et al., 2014).

Influência das cores

A interação entre a radiação solar e os fechamentos opacos exerce influência direta no desempenho térmico das edificações, haja vista, que a quantidade de calor absorvida por essas superfícies está relacionada à absortividade dos materiais, característica fortemente determinada pela cor e textura. Superfícies claras, por apresentarem baixa absortividade e alta refletividade, contribuem para a redução do aquecimento das envoltórias. Em contrapartida, fachadas de cores escuras absorvem maior quantidade de radiação solar, aumentando a transferência de calor para o interior e comprometendo o conforto térmico, especialmente em regiões de clima quente e úmido (Lamberts et al., 2014).

Tabela 4 - Absortividade das cores

ACRÍLICA FOSCA				LÁTEX FOSCA			
NÚMERO	COR	NOME	α	NÚMERO	COR	NOME	α
01		Amarelo Antigo	51,4	34		Amarelo Canário	29,3
02		Amarelo Terra	64,3	35		Amarelo Terra	61,4
03		Areia	44,9	36		Areia	39,0
04		Azul	73,3	37		Azul Angra	32,3
05		Azul Imperial	66,9	38		Bianco Sereno	26,6
06		Branco	15,8	39		Branco	11,1
07		Branco Gelo	37,2	40		Branco Gelo	34,0
08		Camurça	57,4	41		Erva Doce	21,9
09		Concreto	74,5	42		Flamingo	46,8
10		Flamingo	49,5	43		Laranja	39,9
11		Jade	52,3	44		Marfim	29,7
12		Marfim	33,6	45		Palha	28,5
13		Palha	36,7	46		Pérola	25,7
14		Pérola	33,0	47		Pêssego	39,5
15		Pêssego	42,8				
16		Tabaco	78,1				
17		Terracota	64,6				

Fonte: Manual RAC - LABEEE, 2022.

Logo, a cor e o acabamento das superfícies, tanto externas quanto internas, são condicionantes determinantes no desempenho térmico e lumínico da edificação, devendo ser cuidadosamente ponderados no processo projetual. Segundo Rosario (2006, p.104):

No ambiente interno, a utilização das cores claras, com altos índices de refletância, pode melhorar significativamente o rendimento do sistema de iluminação inclusive a artificial, podendo-se auxiliar na distribuição da luz resultando em ambientes iluminados com menor consumo de energia.

2.1.5. Carta bioclimática

A arquitetura bioclimática, conforme aborda Lamberts et al. (2014), busca utilizar os elementos arquitetônicos de forma a explorar as condições climáticas locais, com o objetivo de garantir conforto térmico aos ocupantes dos edifícios. Nesse contexto, destacam-se ferramentas gráficas desenvolvidas para orientar o processo projetual, entre as quais se notabiliza a Carta Bioclimática de Givoni (1969).

A Carta Bioclimática de Givoni², elaborada com base na carta psicrométrica — o qual relaciona a temperatura do ar e a umidade relativa —, propõe estratégias construtivas voltadas à adequação arquitetônica às condições climáticas locais. Por meio da inserção dos dados climáticos predominantes ao longo do ano, a ferramenta

² A carta bioclimática proposta por Givoni permite identificar, de forma precisa, as zonas bioclimáticas e orientar a aplicação de estratégias construtivas adequadas às condições climáticas locais (Lamberts et al., 2014).

identifica zonas bioclimáticas específicas e, assim, orienta a escolha de estratégias passivas que promovam conforto térmico e a eficiência energética das edificações (Lamberts et al., 2014).

Figura 10 - Carta bioclimática de Givoni



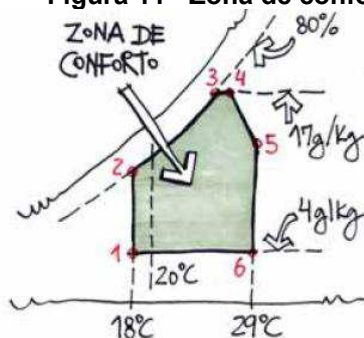
Fonte: Lamberts et al., 2014.

Através de desse instrumento, é possível reconhecer diferentes zonas estratégicas, tais como: zona de conforto térmico; zona de ventilação natural; zona de condicionamento de ar; zona de inércia térmica para resfriamento; zona de umidificação; zona de resfriamento evaporativo; zona de inércia térmica para aquecimento; zona de aquecimento solar passivo; zona de aquecimento artificial.

Zona de conforto térmico

Determina o intervalo de temperatura e umidade no qual o ser humano se sente confortável sem a dependência de sistemas artificiais de aquecimento ou resfriamento. É uma base referencial para identificar quais estratégias devem ser aplicadas para condições climáticas estão fora desse hiato. Lamberts et al. (2014, p. 86) corroboram que “Percebe-se que o organismo humano pode estar em conforto mesmo em diversos limites de umidade relativa (entre 20 e 80%) e de temperatura (entre 18 e 29°C), em países em desenvolvimento segundo Givoni”.

Figura 11 - Zona de conforto



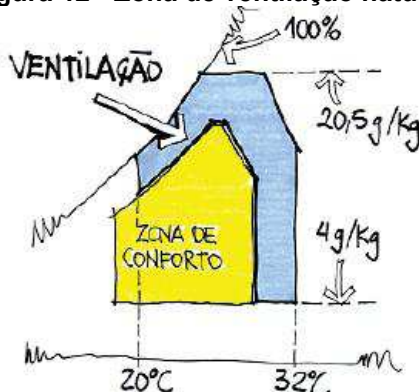
Fonte: Lamberts et al., 2014.

Zona de ventilação natural

Compreende as condições em que o uso de ventilação natural pode propiciar o conforto térmico, favorecendo a remoção do calor corporal e a perda de calor do ambiente interno. Desta forma, é uma estratégia fundamental em climas quentes e úmidos, especialmente quando a temperatura está ligeiramente acima da zona de conforto.

Lamberts et al. (2014, p. 86) explicam que “Se a temperatura do interior ultrapassar os 29°C ou a umidade relativa for superior a 80%, a ventilação pode melhorar a sensação térmica”.

Figura 12 - Zona de ventilação natural



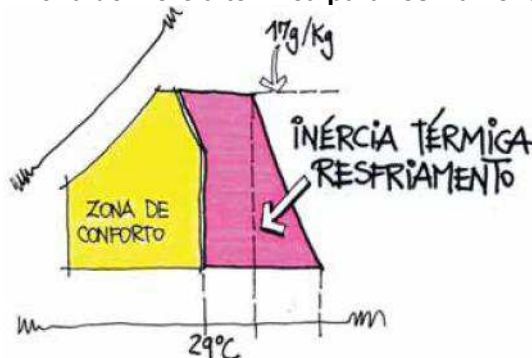
Fonte: Lamberts et al, 2014.

Zona de inércia térmica para resfriamento

Descreve a eficácia dos elementos construtivos com alta capacidade de armazenar calor para retardar os picos de temperatura interna. Durante o dia, a massa

térmica absorve o calor, liberando-o à noite, quando as temperaturas externas estão mais baixas. Ao se resfriar durante a noite, a estrutura mantém-se fresca por boa parte do dia seguinte, contribuindo para um ambiente interno mais estável e confortável. É especialmente indicada para regiões com amplitude térmica significativa (Lamberts et al., 2014).

Figura 13 - Zona de inércia térmica para resfriamento



Fonte: Lamberts et al., 2014.

Zona de resfriamento evaporativo e umidificação

Aplica-se em climas quentes e secos, onde a adição de umidade ao ar pode reduzir a temperatura do ambiente. A evaporação da água retira calor do ar, promovendo resfriamento. Essa estratégia é pouco eficaz em climas úmidos, já que o ar saturado de umidade dificulta a evaporação.

Lamberts et al. (2014, p. 88) elucidam que “A evaporação da água pode reduzir a temperatura e simultaneamente aumentar a umidade relativa de um ambiente”.

Zona de aquecimento solar

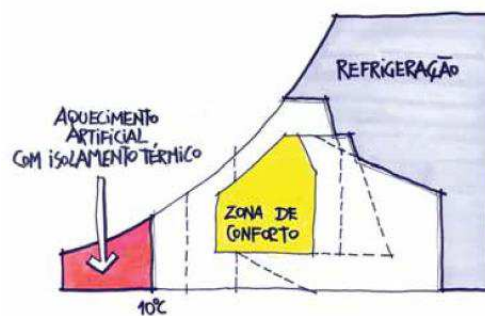
Refere-se às condições em que é necessário o uso de aquecimento solar passivo para manter o conforto térmico, utilizando orientação solar adequada, envidraçamentos e materiais que armazenam e liberam calor internamente.

Lamberts et al. (2014, p. 89) elucidam que: “Nessa região da carta, situada entre 10°C e 20°C, o aquecimento solar é a estratégia mais recomendada para conforto térmico”.

Zonas de condicionamento artificial com isolamento térmico

Em localidades com clima muito severo, onde a temperatura e a umidade excedem o limite tolerável, as estratégias passivas não são suficientes para garantir o conforto térmico. Nesses casos, preconiza-se o uso de sistemas ativos de climatização (ar-condicionado, aquecimento), associados ao isolamento térmico da edificação para reduzir as perdas ou ganhos de calor. No entanto, essa solução deve ser considerada apenas em casos específicos, visto que aumenta significativamente a demanda energética, comprometendo os princípios de eficiência energética (Lamberts et al., 2014).

Figura 14 - Zona de condicionamento artificial com isolamento térmico



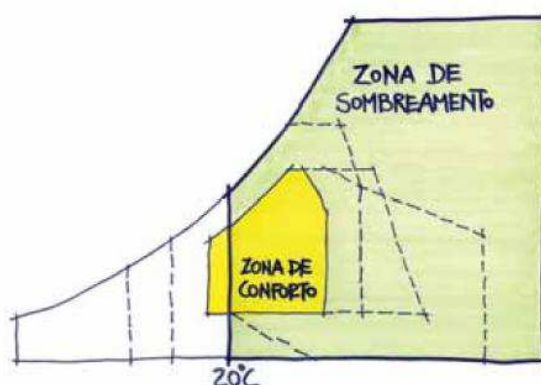
Fonte: Lamberts et al., 2014.

Zona de Sombreamento

Aplicável em climas quentes ou em regiões com exposição prolongada ao sol, essa estratégia consiste na proteção das superfícies expostas da radiação solar direta, reduzindo o ganho térmico interno. Lamberts et al (2014, p. 89) elucidam que:

O sombreamento é uma das estratégias mais importantes no Brasil, pois o país tem clima quente na maior parte do seu território na maior parte do ano. Esta estratégia deve ser utilizada sempre que a temperatura do ar for superior a 20°C, mesmo quando a carta bioclimática indicar conforto térmico.

Figura 15 - Zona de Sombreamento



Fonte: Lamberts et al., 2014.

2.1.6. Clima de São Luís

São Luís, capital do estado do Maranhão, está situada no nordeste do Brasil, precisamente na região norte do estado, sob o domínio Geoambiental do Golfão Maranhense. A coordenada geográfica de São Luís, em uma latitude de 2° 31' 47" S e longitude 44° 18' 10" O, às margens do Oceano Atlântico (Sampaio, 2014).

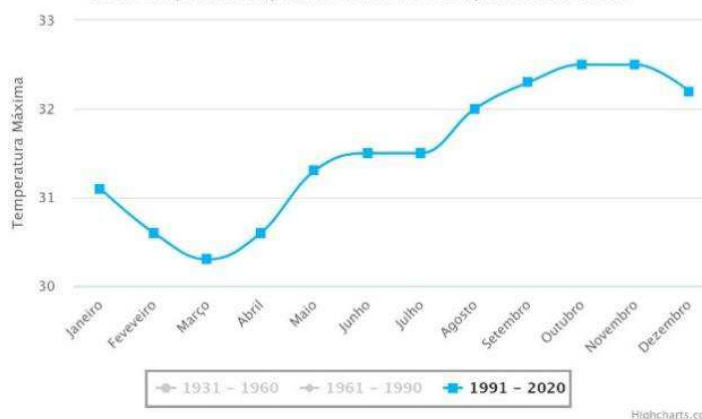
O clima preponderante nesta região é o clima tropical quente úmido, caracterizado por temperaturas elevadas, amplitude térmica diária baixa e alta umidade. Souza (2016, p. 87) reforça que “No clima quente úmido de baixa latitude, tanto a temperatura quanto a umidade são muito altas o ano inteiro. As altas temperaturas ocasionam efeitos desagradáveis, como o aumento da temperatura do espaço interno, provocando sensações de calor e fadiga, além das ilhas de calor urbanas”.

Nesse contexto, por configurar uma região equatorial de baixa altitude, São Luís apresenta baixa amplitude térmica diária, característica fortemente influenciada pela elevada umidade relativa do ar.

Gráfico 1 - Temperaturas máximas

Instituto Nacional de Meteorologia – INMET

Gráfico Comparativo Temperatura Máxima (°C) || Estação: SAO LUIS (82280)



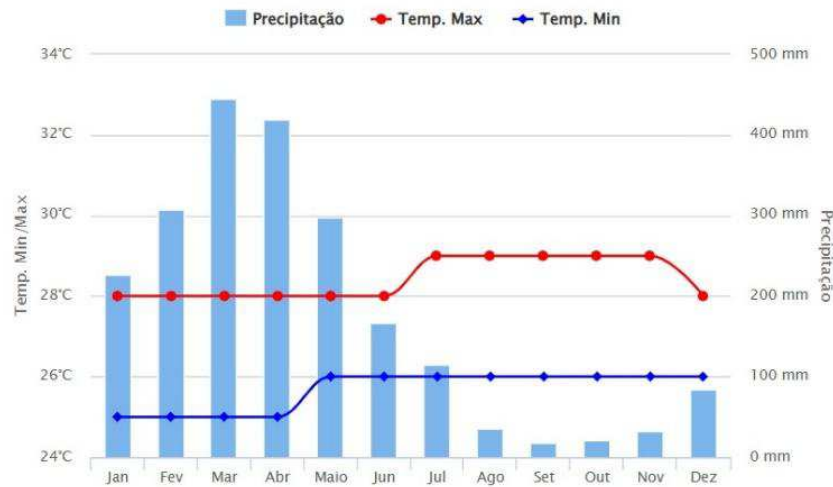
Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, 2025.

São Luís apresenta média anual em torno de 27 °C — as máximas habitualmente excedem os 31 °C e as mínimas ocasionalmente apontam valores abaixo de 23 °C — com variações térmicas discretas entre o dia e a noite

Marcada por chuvas abundantes e regulares — geralmente convectivas — a capital ludovicense apresenta duas estações bem definidas, uma estação chuvosa de janeiro a junho, e uma estação seca de julho a dezembro, com menos precipitações. Como elucida Souza (2016, p.87), “As precipitações atmosféricas são muito altas, superando os 1.500 mm ao ano. Os mais frequentes efeitos desagradáveis, resultados desse fenômeno, são as inundações e os consequentes desabamentos”.

Gráfico 2 - Temperaturas e precipitação média – São Luís

📍 São Luís - BR



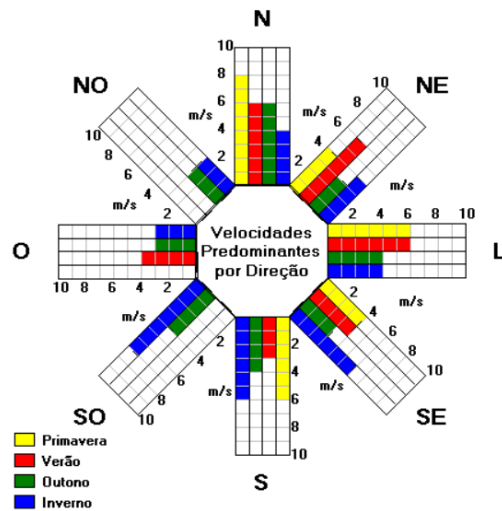
Fonte: Clima Tempo, 2025.

As regiões situadas nas proximidades da Linha do Equador são caracterizadas por intensa incidência solar. De acordo com Souza (2016), as zonas de baixa latitude são marcadas por uma radiação solar pujante e difusa, o que exige soluções projetuais que visam a preservação da vegetação nativa e a proteção dos ambientes de incidência solar direta, pois contribuem significativamente para o conforto térmico dos espaços construídos e, simultaneamente, promovem a recuperação e a manutenção da qualidade ambiental.

A intensidade dos ventos é maior nos polos e diminui gradualmente em direção ao Equador, onde se torna praticamente nula. Logo, esse processo explica a tendência de ventos naturalmente fracos em climas quentes e úmidos. De acordo com Souza (2016, p. 82):

Em clima tropical quente úmido, os ventos caracterizam-se principalmente por se apresentarem sazonais, predominantemente leste, fracos no continente e moderado a forte em algumas pequenas faixas do litoral. Porém, o atrito com a superfície, o movimento de rotação do planeta e a variação de temperatura modificam a direção e a velocidade do vento numa dada região.

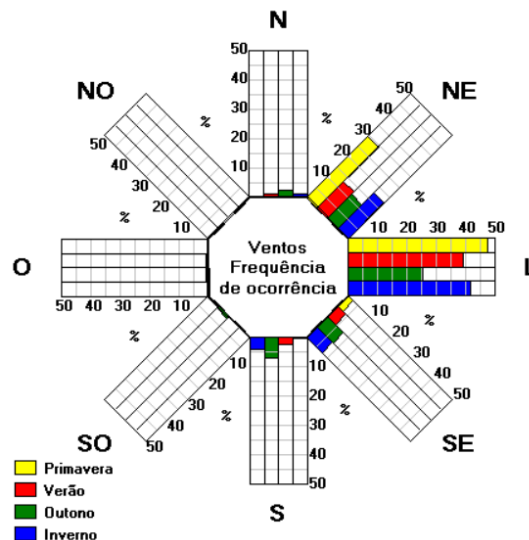
Gráfico 3 - Velocidade dos ventos



Fonte: *Software SOL-AR, 2025.*

Nessa conjuntura, com base no software SOL-AR³ constata-se que, para a cidade de São Luís, os ventos dominantes incidem majoritariamente nas orientações Nordeste (NE) e Leste (L). Em contraste, as demais orientações apresentam frequência de ocorrência mínima, evidenciando a baixa relevância dos ventos provenientes dessas orientações.

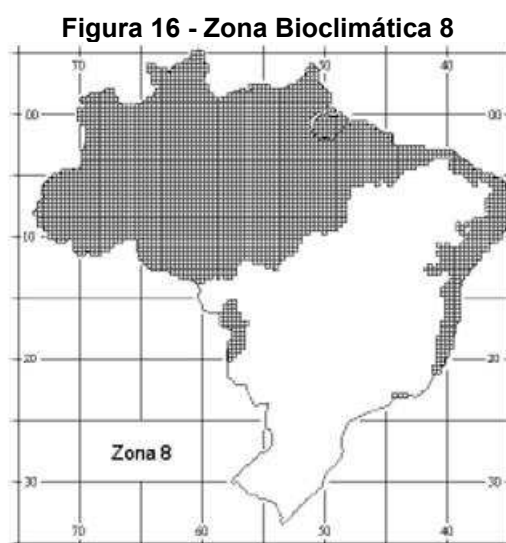
Gráfico 4 - Gráfico: Frequência de ocorrência dos ventos



Fonte: *Software SOL-AR, 2025.*

³ [...] Analysis-SOL-AR (2012) é dividido em dois módulos básicos, um que analisa a carta solar para a região desejada e outro que analisa a rosa-dos-ventos. O programa marca os dados de temperatura do ar diretamente sobre a carta solar para determinada latitude, e mostra através de cores diferenciadas como essas temperaturas se distribuem ao longo do ano [...] (Lamberts et al., 2014).

Considerando as características climáticas previamente estudadas para São Luís — como a elevada temperatura média anual, os altos índices de umidade relativa e a significativa ocorrência de precipitações —, a cidade está classificada na Zona Bioclimática Oito, conforme estabelecido pelo Zoneamento Bioclimático Brasileiro (ZBB)⁵. Essa classificação abrange regiões de clima quente e muito úmido, onde as estratégias projetuais devem estar especialmente voltadas à promoção do conforto térmico por meios passivos.



Fonte: ABNT, 2003.

2.1.7. O estudo da carta psicrométrica para a cidade de São Luís

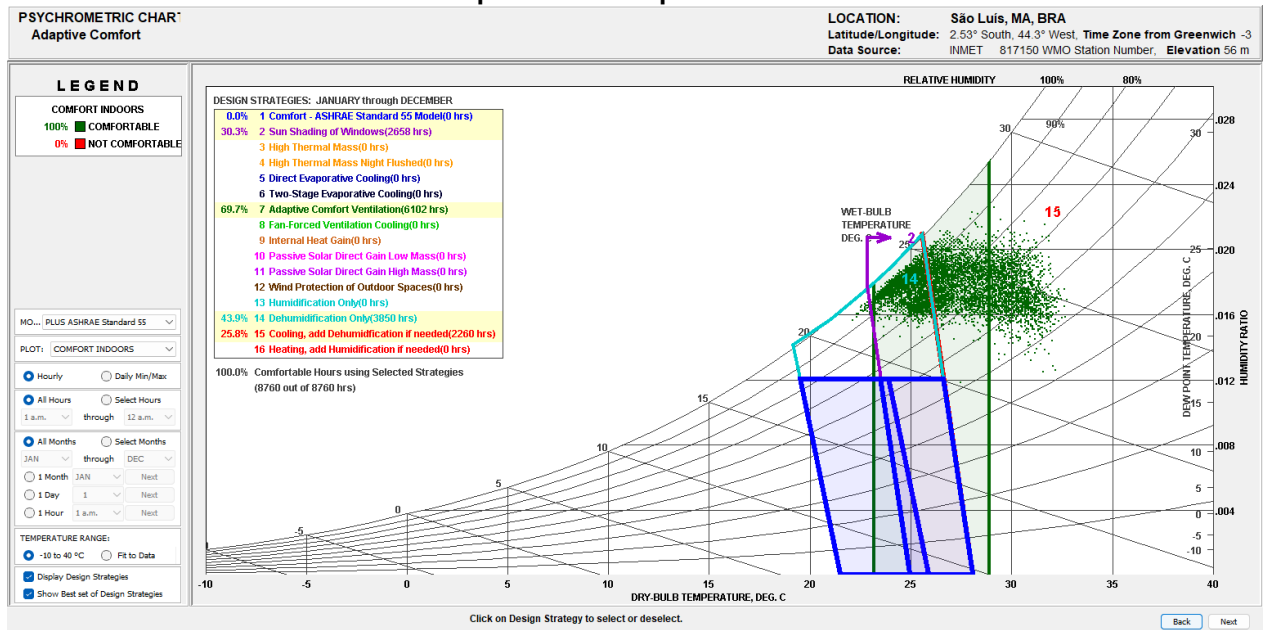
Baseado no *software Climate Consultant*⁴, a análise da carta psicrométrica ludovicense aponta importantes diretrizes para o conforto ambiental ao longo do ano. O diagrama demonstra que, por meio da adoção de estratégias bioclimáticas adequadas, é possível atingir condições de conforto térmico em 100% das horas do ano.

Dentre as principais estratégias de conforto apontadas pelo software, notabiliza-se o emprego da ventilação natural — responsável por aproximadamente

⁴ O *Climate Consultant* é um software gratuito, desenvolvido pela Universidade da Califórnia em Los Angeles (UCLA), que tem como objetivo analisar dados climáticos regionais, utilizando arquivos no formato EPW (EnergyPlus Weather). O programa traduz informações complexas sobre o clima local em representações gráficas acessíveis, promovendo a adoção de estratégias projetuais bioclimáticas e energeticamente eficientes, adaptadas às condições ambientais específicas de cada localidade Milne et al. (2021).

69,7% das horas consideradas confortáveis — o que evidencia a relevância da ventilação passiva como elemento fundamental para o bem-estar térmico dos usuários. Ademais, a estratégia de sombreamento também se destaca, contribuindo com cerca de 30,3% das horas de conforto ao longo do ano, o que reforça a importância do controle solar no desempenho ambiental das edificações em clima quente e úmido.

Gráfico 5 - Carta psicrométrica para cidade de São Luís



Fonte: Software Climate Consultant, 2025.

2.2. Crise energética mundial e o padrão de consumo energético da habitação de interesse social em São Luís

2.2.1. Crise Energética mundial

A eclosão da crise energética contemporânea encontra raízes em reflexões que emergiram ainda na década de 1960, notadamente com a publicação da obra *Primavera Silenciosa* (1969), de Rachel Carson. A autora denunciava os impactos ambientais e sanitários provocados pelo uso disseminado de pesticidas e agrotóxicos industriais, majoritariamente derivados do carvão mineral e do petróleo, amplamente empregados entre as décadas de 1940 e 1950 (Miranda, 2023).

A crise do petróleo de 1973 desencadeou transformações significativas nas diretrizes energéticas e nos padrões de consumo, influenciando diretamente os processos de concepção arquitetônica. Outrora, sobrepujava um modelo projetual embasado no uso pujante de sistemas artificiais de condicionamento térmico e iluminação, frequentemente dissociado das condicionantes climáticas locais. Essa lógica resultou em edificações com elevado consumo energético, gerando impactos econômicos e ambientais consideráveis durante sua operação (Lamberts et al., 2014).

Com o aumento expressivo da demanda por energia elétrica para suprir tais edifícios, tornou-se evidente a insustentabilidade do modelo vigente. A resposta do poder público brasileiro envolveu a ampliação do parque gerador, o que gerou consequências negativas, como impactos ambientais decorrentes da construção de grandes usinas e a concentração de investimentos públicos em infraestrutura energética, em detrimento de setores fundamentais como saúde, habitação e educação (Lamberts et al., 2014).

Nesse contexto, a eficiência energética emerge como alternativa prioritária para a mitigação dos efeitos negativos associados ao aumento do consumo, atenuando a demanda energética e contribuindo para a diminuição dos custos públicos e privados. No âmbito da arquitetura, a elaboração de projetos que incorporem critérios de eficiência energética possibilita a conciliação entre conforto ambiental e uso racional de recursos energéticos, promovendo a sustentabilidade no ambiente construído (Lamberts et al., 2014).

2.2.2. Panorama atual

A atual crise energética global notabiliza-se como um evento complexo e interligado, definido por aspectos geopolíticos e ambientais. Embora as fontes renováveis tenham alcançado avanços expressivos e os investimentos em energia limpa estejam em ascendência, as fontes fósseis não renováveis continuam exercendo papel central e resistente na matriz energética mundial (Ferrez Jr.,2024; CNN Brasil, 2021). Conforme elucida Miranda (2023, p. 16):

Os temas sustentabilidade e crise energética na atualidade são fundamentados e referenciados no paradigma socioeconômico vigente de natureza e de população e remetem à reflexão sobre os limites dos processos de interação mútua, em face aos limites dos diversos componentes da natureza no planeta, em especial às fontes energéticas – os combustíveis fósseis – e às formas de sua apropriação e uso, segundo a lógica do atual sistema socioeconômico vigente, a lógica capitalista.

Sob a ótica geopolítica, Carmona (2022) destaca que a guerra na Ucrânia apressou o aprofundamento de dinâmicas já em desenvolvimento, como a instabilidade nas cadeias produtivas de energia e alimento, revelando vulnerabilidades críticas à soberania nacional de diversos países, como Brasil, EUA e nações europeias. Carmona (2022, p. 102) elucida que:

O problema já vem de antes: pressionadas pela agenda da aceleração da transição energética, as majors (grandes petroleiras dos países desenvolvidos) se desengajaram da abertura de novas frentes exploratórias, reduziram seus planos de investimentos e, por consequência, viram uma diminuição de suas reservas. Some-se a isso o fato que, desde 24 de fevereiro, a Rússia, um dos maiores produtores de petróleo e gás do mundo – no primeiro caso, de cerca de 8% da produção mundial –, tem sido excluída do mercado internacional em razão das sanções e da meta de eliminação das importações por parte dos países do G7, especialmente os europeus, fortes dependentes desse fornecimento.

Segundo Miranda (2023), embora a crise energética atual esteja centrada na possível escassez do petróleo — devido às suas reservas limitadas e distribuídas de forma desigual, ela representa uma ameaça ampla ao planeta. A percepção dessa crise varia entre os setores sociais, mas é especialmente grave para os grupos com menos recursos financeiros, visto que a crise ecológica contemporânea afeta simultaneamente os aspectos ambientais, socioeconômicos e culturais da sociedade.

As crises energéticas, ao longo da história, têm revelado os limites da exploração ambiental e provocado questionamentos sobre a capacidade da ciência e da tecnologia em reverter danos causados pela ação humana. No contexto do capitalismo global, torna-se urgente repensar a relação sociedade-natureza, especialmente diante dos impactos ambientais gerados por matrizes energéticas poluentes. A busca por alternativas sustentáveis deve considerar a escala e os efeitos desses processos sobre o planeta (Miranda, 2023).

Nessa conjuntura, diante da crise energética, diversas alternativas têm sido propostas com foco na adoção de fontes renováveis — como a energia hidráulica, solar, eólica, biomassa, geotérmica e, mais recentemente, o hidrogênio verde e a energia nuclear. Essas opções, frequentemente classificadas como matrizes de energia limpa, visam reduzir os impactos ambientais e a dependência de combustíveis fósseis. No entanto, tais fontes também possuem limitações: suas reservas naturais são finitas, distribuídas de forma desigual no território global e, quando exploradas em larga escala, podem gerar novas problemáticas, inclusive de ordem econômica, social, técnica e cultural (Miranda, 2023).

2.2.3. Construção civil e a crise energética global

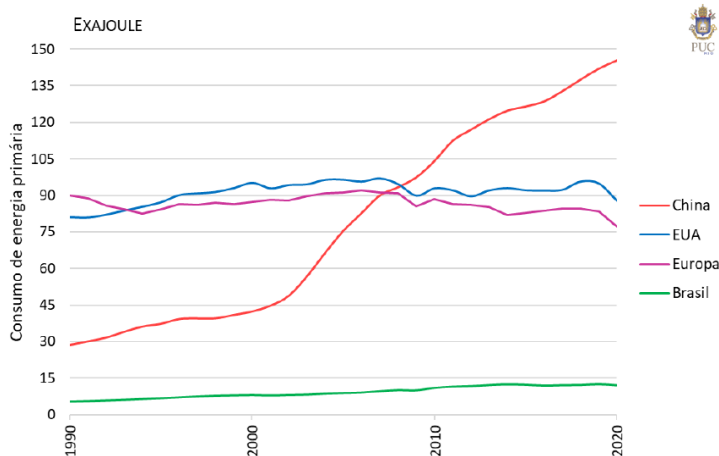
A construção civil desempenha papel central na crise energética global, sendo uma das atividades que mais consomem energia e recursos naturais. Segundo o Conselho Internacional da Construção (CIB), esse setor é responsável por até 75% do consumo mundial de matérias-primas e por aproximadamente 40% das emissões de gases de efeito estufa (Silva; Beber, 2022).

Conforme Silva e Beber (2022), no Brasil, a situação se agrava devido ao predomínio de edificações com baixo desempenho energético, que aumentam a dependência da matriz elétrica predominantemente hidrelétrica. A rápida urbanização, combinada com um planejamento urbano inadequado e o uso excessivo de sistemas artificiais de climatização, eleva significativamente a demanda por energia nas cidades.

No período compreendido entre 1990 e 2020, a participação brasileira no consumo global de energia manteve-se relativamente estável, situando-se entre 1,6% e 2,3%. Conforme dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o ano de 2010

apresentou o maior incremento no consumo energético nacional, com uma elevação de 10,1%, atribuída à expansão do setor industrial e ao aumento da demanda nos segmentos residencial e comercial. Em contraste, no ano de 2020 observou-se uma retração de 3,3%, com o consumo total passando de 12,4 para 12 exajoules (IEPUC, 2022).

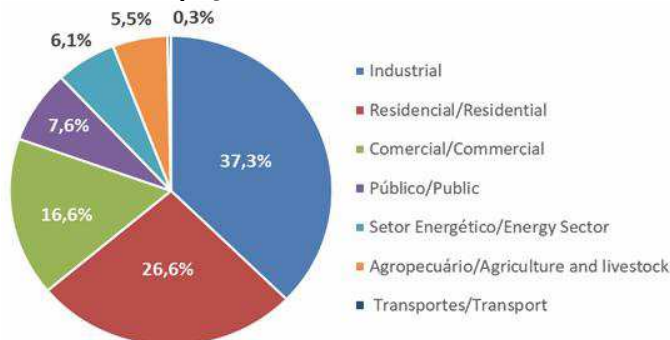
Gráfico 6 - Consumo de energia primária – Brasil, EUA, China e Europa: 1990 – 2020



Fonte: IEPUC, 2022.

As edificações foram responsáveis por cerca de 52% do consumo total de energia no Brasil em 2019, evidenciando a relevância desse setor no cenário energético nacional. Esse dado reforça a urgência de se investir em estratégias que aumentem a eficiência energética das construções. No entanto, para que tais medidas sejam realmente eficazes, é imprescindível conhecer previamente o desempenho energético das edificações, permitindo intervenções mais direcionadas e sustentáveis (Geraldi et al., 2022).

Gráfico 7 - Participação setorial no consumo de eletricidade



Fonte: Empresa de pesquisa energética – EPE, 2023.

2.2.4. Padrão de consumo energético da habitação de interesse social em São Luís

De acordo com Geraldi et al. (2022), em 2021, o setor residencial brasileiro consumiu 150,54 TWh de eletricidade, representando 67,3% do consumo total das edificações. Esse aumento está associado principalmente à maior utilização de equipamentos destinados ao conforto térmico, conforme indicado pela Pesquisa de Posses e Hábitos do Procel (2018–2019). Além disso, estudos revelam que variáveis socioeconômicas, como renda e faixa etária dos moradores, influenciam significativamente os padrões de consumo, sendo a limitação financeira um fator-chave na ocorrência da pobreza energética em residências de baixa renda.

O consumo médio de eletricidade por unidade habitacional (UH) na classe residencial no Brasil tem se mantido relativamente constante ao longo dos anos, com média em torno de 2.006,4 kWh/UH. Em contrapartida, observa-se um crescimento no consumo entre as famílias de baixa renda, cuja demanda energética tem se aproximado dos padrões da classe residencial geral. Essa dinâmica ressalta a necessidade de um planejamento energético para as cidades, sobretudo nas metrópoles, onde se concentra a maior parte dessa população (IBGE, 2021; Geraldi et al., 2022).

A região Nordeste possui os menores índices de consumo médio anual de eletricidade por unidade habitacional, tanto na categoria residencial geral (1.684,3 kWh/UH.ano) quanto na de baixa renda (1.070,7 kWh/UH.ano). Esses valores estão significativamente abaixo da média nacional.

Tabela 5 - Consumo médio de eletricidade em residências brasileiras por região e faixa tarifária

Região	Consumo médio anual (kWh/UH.ano)	
	Residencial	Residencial de Baixa Renda
Centro-Oeste	2.159,5	1.649,2
Nordeste	1.684,3	1.070,7
Norte	2.001,8	1.232,9
Sudeste	2.088,7	1.843,9
Sul	2.097,7	1.816,1
Média Nacional	2.006,4	1.522,6

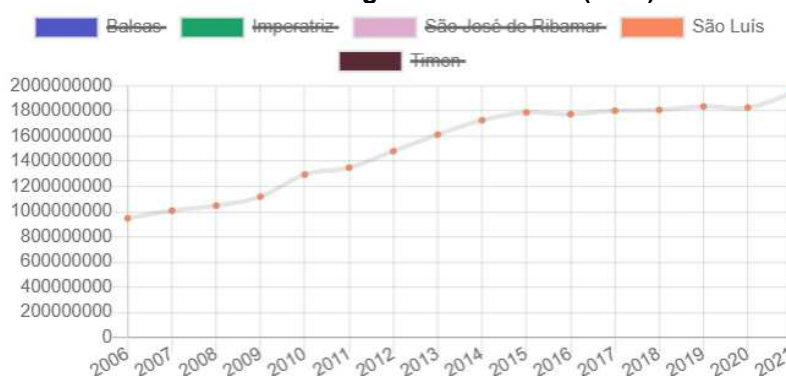
Fonte: Geraldi et al., 2022.

A baixa demanda energética no Nordeste evidencia desigualdades regionais e aponta para a necessidade de políticas públicas que promovam maior equidade no acesso à energia e na qualidade das habitações. Geraldi et al. (2022, p. 9), esclarece que:

É importante notar que o consumo típico por unidade habitacional na região Nordeste para a classe residencial de baixa renda é significativamente inferior a todas as demais regiões e classes, evidenciando um problema de desigualdade social e pobreza energética eminente. Uma vez que o Nordeste é uma região tipicamente com alta demanda por resfriamento de ambientes, o baixo consumo por unidade habitacional indica que é provável que as pessoas mais vulneráveis sofram com desconforto por calor.

O município de São Luís, entre os anos de 2006 e 2021, destacou-se como o maior consumidor de energia elétrica do Maranhão, conforme indicam os dados do portal DataIMESC. De acordo com a Equatorial Energia (2020), a cidade de São Luís concentra a maior demanda por energia elétrica dentro da área de concessão da Equatorial Maranhão, destacando-se como principal centro de consumo do estado. Essa expressiva demanda é impulsionada, sobretudo, pelos setores residencial, industrial e rural, que, em conjunto, são responsáveis por 62% da energia distribuída na região.

Gráfico 8 -Consumo de Energia Elétrica Total (kWh) - São Luís/MA

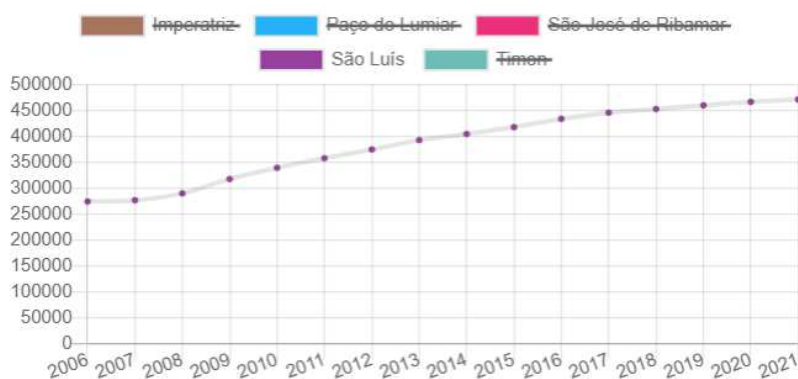


Fonte: IMESC, 2025.

Paralelamente, o número de unidades consumidoras também apresentou elevação significativa, passando de aproximadamente 274 mil em 2006 para mais de 470 mil em 2021. A partir de 2016, no entanto, observa-se uma leve desaceleração no ritmo de crescimento do consumo, o que pode estar associado à adoção de

medidas de eficiência energética, à modernização de equipamentos e a mudanças no comportamento de consumo.

Gráfico 9 -Total de unidades consumidoras de energia elétrica em São Luís



Fonte: IMESC, 2025.

Em consonância com esse perfil de alto consumo, o município também apresenta avanços relevantes na implementação de políticas de apoio à população de baixa renda, como a Tarifa Social de Energia Elétrica (TSEE). Dados mais recentes indicam que, em 2023, cerca de 106 mil famílias ludovicenses foram contempladas com o benefício, garantindo descontos de até 65% na fatura de energia, conforme os critérios estabelecidos pelo Governo Federal (Equatorial Energia, 2024a).

Em São Luís, embora o consumo energético agregado seja elevado, o padrão observado nas habitações de interesse social revela baixo consumo por unidade habitacional, refletindo limitações socioeconômicas. Esse cenário, comum ao Nordeste, destaca desigualdades no acesso à energia, sobretudo em regiões com alta demanda por resfriamento, indicando vulnerabilidade térmica nas moradias populares, o que evidencia a necessidade de apoio estatal diante da persistente pobreza energética.

2.3. Conforto térmico em habitação unifamiliar de interesse social no Programa Minha Casa Minha Vida

2.3.1. Breve Histórico

O programa surgiu em decorrência do déficit habitacional no país, alcançando notoriedade após a crise econômica global de 2008, que impactou diversos setores, abrangendo o imobiliário. Frente a essa conjuntura, o poder executivo brasileiro adotou medidas de incentivo ao crédito e lançou o PMCMV, instituído pela Lei nº 11.977 de 2009, com o objetivo de ampliar significativamente a oferta de moradias para famílias de baixa e média renda. Melo (2021, p. 7) afirma:

[...] o contexto de elaboração do programa teve em suas origens e diretrizes a preocupação com o crescimento econômico e em não deixar o setor produtivo da construção civil entrar em colapso (Klintowitz, 2016). Dias e Castelo (2011) acreditam que o programa surgiu em um contexto específico, em que necessitava combater os efeitos desaceleradores da crise mundial e tinha como objeto da ação um problema antigo, o déficit habitacional.

A primeira etapa do PMCMV propunha-se a construir um milhão de unidades habitacionais, com quatrocentos mil domicílios subsidiados para famílias com ganhos até três salários-mínimos. Doravante, esse objetivo foi expandido para dois milhões, impulsionando o setor da construção civil. Conforme Carvalho e Stephan (2016, p. 286):

Apesar de ser criado como medida anticíclica para fazer frente à crise econômica, o PMCMV representou uma política social de grande escala, que estimulou a criação de empregos e de investimentos no setor da construção civil, atendendo à demanda habitacional de baixa renda que o mercado por si só não alcançava até então (Arantes e Fix, 2009; Hirata, 2011; Klintowitz, 2011).

Carvalho e Stephan (2016), relatam que o programa contou com dois subprogramas que abrangem realidades distintas: o Programa Nacional de Habitação Urbana (PNHU), voltado para a produção e requalificação de imóveis em áreas urbanas, e o Programa Nacional de Habitação Rural (PNHR), que atende agricultores familiares e trabalhadores rurais por meio de subsídios para produção ou reforma de moradias em zonas rurais. Essa segmentação buscou contemplar as diferentes necessidades habitacionais no país, garantindo suporte tanto para contextos urbanos quanto para o meio rural.

Em 2021, o Programa Casa Verde e Amarela (CVA) foi instituído para substituir formalmente o PMCMV, reorganizando a política habitacional nacional sob uma nova estrutura normativa. O CVA concentra suas ações em três eixos principais: a provisão habitacional, a regularização fundiária e a destinação de terras públicas, segmentando seu público-alvo em faixas de renda familiar (Balbim, 2022).

Por sua vez, conforme De Marco; Battirola (2021), o Programa Casa Verde e Amarela, com metas de atender 1,6 milhão de famílias até 2024, se propôs a ampliar o acesso à moradia digna, focando não só na quantidade, mas também na melhoria da qualidade de vida dos beneficiários e na integração urbana.

Como apontado por Rabelo et al. (2024, p. 491), o PMCMV, desde sua implantação, estruturou-se com base em três faixas de renda bem definidas, conforme descrito a seguir:

Vale destacar que, desde a sua criação, em 2009, mesmo que com alterações pontuais ao longo dos anos, o PMCMV sempre foi dividido em 3 faixas de renda escalonadas (Faixa 1: renda até cerca de R\$ 2.000; Faixa 2: renda até cerca de R\$ 4.000; Faixa 3: renda até cerca de R\$ 8000), sendo cada uma com uma forma de subvenção financeira [...]

No que se refere à evolução temporal do programa, é possível identificar três fases distintas entre os anos de 2009 e 2021, conforme exposto por Rabelo et al (2024, p.491):

Com o objetivo de sintetizar temporalmente as fases do primeiro ciclo do PMCMV (2009 a 2021), pode-se dividir o PMCMV em basicamente 3 fases (BRASIL, 2023): i) fase 1, de abril de 2009 a junho de 2011; ii) fase 2, de junho de 2011 a dezembro de 2014; e iii) fase 3, que inicia em março de 2016 e vai até – na falta de uma delimitação formal exata – a sua extinção em 2021, com a criação do Programa Casa Verde Amarela (PCVA) [...]

Tabela 6 - Fases do PMCMV

Fase	Período	Mandato Presidencial	Meta Principal Anunciada
01	2009 a 2011	Governo Lula: 2006-2010	1 milhão de UH para famílias com renda de até 10 salários-mínimos
		Governo Dilma: 2011-2014	
02	2011 a 2014	Governo Dilma: 2011-2014	2 milhões de UH até o final de 2014
03	2016	Governo Dilma: 2014-2016	Mais 2 milhões de UH até o final de 2018
	2016 a 2018	Governo Temer: 2016-2018	
	2019 a 2021	Governo Bolsonaro: 2019 a 2022	400 mil UH em 2019 500 mil UH em 2020

Fonte: Rabelo et al., 2024.

Nessa conjuntura, embora os programas habitacionais — especialmente o Programa Minha Casa Minha Vida — tenham alcançado avanços significativos em termos quantitativos, Carvalho e Stephan (2016) apontam fragilidades quanto à qualidade das unidades produzidas e à sua localização majoritariamente periférica. Essa configuração tem sido associada tanto à lógica especulativa do mercado fundiário quanto à ausência de um planejamento urbano articulado, o que compromete a efetividade das políticas habitacionais e evidencia entraves estruturais à promoção de moradias adequadas e socialmente integradas ao tecido urbano.

2.3.2. Aspectos críticos da produção habitacional no PMCMV e seus reflexos no conforto térmico

O PMCMV foi instituído como a principal política habitacional do governo federal no enfrentamento das desigualdades históricas associadas à precariedade das condições de moradia no Brasil. Contudo, desde sua origem, o programa caracterizou-se por uma abordagem centrada na expansão numérica da oferta habitacional, o que ocasionou fragilidades expressivas quanto a qualidade projetual e construtiva das unidades, à integração adequada dos empreendimentos ao ambiente urbano consolidado, bem como à limitada provisão de infraestrutura, segurança e ações sistemáticas de acompanhamento social (Ferreira; Zambrano, 2019; Melo 2021).

Nessa conjuntura, conforme o levantamento realizado pela Controladoria Geral da União (CGU, 2017), o qual avaliou residências pertencentes às faixas 2 e 3 do Programa Minha Casa Minha Vida, verificou-se que a maioria das habitações apresentavam anomalias técnicas mesmo dentro do período de garantia. Conforme descrito no relatório:

[...] Os trabalhos de campo foram realizados em 2015, com a análise de 2.166 contratos e 1.472 unidades habitacionais de beneficiários que responderam à pesquisa de satisfação e foram contemplados nas fiscalizações da CGU. Com relação às construções, foram observados defeitos em 56,4% das unidades da amostra visitada, falhas construtivas ocorridas dentro do prazo de garantia. As principais foram: infiltrações, falta de prumo (verticalidade de paredes e colunas) e de esquadros (se os planos medidos estão com ângulo reto), trincas e vazamentos. Já quanto à área externa, menos de 20% dos moradores informaram situações de alagamento, iluminação deficiente e falta de pavimentação.

De acordo com Carvalho e Stephan (2016), a produção de habitação destinada à população de baixa renda, frequentemente desvinculada de uma abordagem integrada ao ambiente urbano, configura-se como uma prática recorrente nas cidades brasileiras. Tal modelo de implantação contribui para a marginalização socioespacial desses grupos, afastando-os das áreas centrais e bem estruturadas, geralmente ocupadas por interesses do setor privado. Neto et al. (2015, p. 8) explica que:

Uma crítica corrente ao MCMV ressalta a má inserção urbana das UHs produzidas: localizações periféricas e mal servidas por transporte público, carentes de serviços básicos etc. (Cardoso, 2013). Nos grandes centros urbanos e nas RMs, sua inserção seria ainda mais problemática, em razão dos custos mais altos dos terrenos.

A uniformização excessiva das unidades, desconsiderando as variáveis climáticas locais, é um fator recorrente nas unidades habitacionais do PMCMV, o que compromete o desempenho ambiental das moradias - especialmente em regiões de clima quente e úmido. AMORE et al. (2015, p. 62) elucida que:

A produção do Programa Minha Casa Minha Vida para a Faixa 1 tem como características mais significativas a ampla padronização dos projetos e o grande porte dos empreendimentos, de maneira praticamente independente das diferentes realidades locais. De modo geral, técnicas construtivas, arranjos espaciais e programas das unidades, desempenho e conforto ambientais e padrão de implantação não correspondem às diversidades urbanas, bioclimáticas, sociais, culturais, tecnológicas das regiões, municípios ou dos bairros.

Outro aspecto crítico é a ausência de flexibilidade e a possibilidade de ampliação ou personalização das unidades, desconsiderando as transformações naturais no ciclo de vida familiar. Ferreira e Zambrano (2019, p. 1086) reforçam que:

Quanto ao projeto arquitetônico de um modo geral, identifica-se a necessidade de ser considerado, desde a concepção, o desempenho pretendido e refletir sobre as diferentes necessidades de uso da habitação (incluindo adultos e crianças e incluindo atividades de trabalho e estudo), devendo ser criadas alternativas que permitam aos moradores a apropriação do espaço como melhor lhes convier, sem prejudicar a privacidade dos demais. Por isso a necessidade de flexibilidade e previsão de expansão ordenada, a fim de orientar em caso de alterações na residência, para que não comprometam o conforto, salubridade, segurança estrutural da UH e dos seus vizinhos, possíveis impactados nos casos de modificações desordenadas.

2.3.3. Avanços normativos no PMCMV: análise da Portaria nº 725/2023 quanto ao Conforto térmico e Programa mínimo das unidades habitacionais

Em resposta às recorrentes críticas direcionadas à qualidade das moradias entregues pelo Programa Minha Casa Minha Vida, o Ministério das Cidades instituiu, em junho de 2023, a Portaria nº 725. Este normativo estabelece novas diretrizes relacionadas aos aspectos urbanísticos, projetuais, construtivos e financeiros das unidades habitacionais, com o objetivo de aprimorar o padrão das edificações e promover maior bem-estar aos moradores (Veiga et al., 2024).

Em concordância com Veiga et al. (2024), dentre as exigências voltadas à concepção dos empreendimentos, destacam-se parâmetros técnicos voltados à melhoria do desempenho construtivo, conforme estabelecido pela NBR 15575, como o uso de materiais com melhor desempenho, exigências de ventilação cruzada, aplicação de estratégias de sombreamento, controle da absorvância térmica de superfícies e ampliação das dimensões mínimas dos cômodos.

Optou-se por adotar, no presente trabalho, a Portaria MCID nº 725/2023 como principal referência normativa. Tal escolha se justifica tanto por sua recente publicação quanto pela robustez e objetividade com que estabelece critérios técnicos obrigatórios para empreendimentos vinculados ao Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV).

Anexo III: Especificações do projeto da edificação e da unidade habitacional

O Anexo III da Portaria MCID nº 725/2023 estabelece diretrizes técnicas indispensáveis à concepção das edificações e das unidades residenciais vinculadas ao PMCMV. A instrução normativa estabelece que os responsáveis pelos projetos devem seguir diretrizes específicas voltadas à garantia do desempenho e da qualidade das moradias de interesse social, enquanto os agentes financeiros devem utilizá-las na análise e aprovação das propostas (Brasil, 2023).

Entre as diretrizes estabelecidas, o ato normativo exige a obrigatoriedade de atendimento às especificações de desempenho da ABNT NBR 15.575, podendo-se utilizar as Fichas de Avaliação de Desempenho (FAD) como instrumento de referência e comprovação. Além disso, na ausência de Programas Setoriais da

Qualidade (PSQ), torna-se obrigatória a adoção de componentes certificados por organismos acreditados pelo INMETRO. Por fim, os projetos devem apresentar nível de detalhamento técnico compatível com a ABNT NBR 649211, acompanhado de levantamento planialtimétrico georreferenciado, conforme o sistema UTM12 e datum SIRGAS 200013. (Brasil, 2023).

Programa de necessidades

As unidades habitacionais unifamiliares devem possuir área útil mínima de 40 m², com pé-direito de, no mínimo, 2,55 m, sendo admitida a redução para 2,30 m exclusivamente nos banheiros. O programa de necessidades básico deve contemplar os seguintes ambientes: sala de estar, dormitório de casal, dormitório para duas pessoas, cozinha, área de serviço e banheiro, acrescido de varanda no caso de unidades multifamiliares ou sobrados (Brasil, 2023).

Ainda que o dispositivo legal não estabeleça dimensões mínimas específicas para cada cômodo, cabe ao projetista garantir que os espaços sejam compatíveis com o mobiliário indicado e com as faixas de circulação previstas. Nesse sentido, conforme dispõe a Portaria nº 725/2023 do Ministério das Cidades (BRASIL, 2023, p. 21), os ambientes devem atender aos seguintes parâmetros mínimos de uso e dimensionamento:

- i. Dormitório de casal – Quantidade mínima de móveis: 1 cama (1,40 m x 1,90 m); 1 mesa de cabeceira (0,50 m x 0,50 m); e 1 guarda-roupa (1,60 m x 0,50 m). Circulação mínima entre mobiliário e/ou paredes de 0,50 m.**
- ii. Dormitório para duas pessoas – Quantidade mínima de móveis: 2 camas (0,90 m x 1,90 m); 1 mesa de cabeceira (0,50 m x 0,50 m); e 1 guarda-roupa (1,50 m x 0,50 m). Circulação mínima entre as camas de 0,80 m. Demais circulações, mínimo 0,50 m.**
- iii. Cozinha – Largura mínima: 1,80 m. Quantidade mínima de itens: pia (1,20 m x 0,50 m); fogão (0,55 m x 0,60 m); e geladeira (0,70 m x 0,70 m). Previsão para armário sob a pia e gabinete.**
- iv. Sala de estar/refeições – Largura mínima: 2,40 m. Quantidade mínima de móveis: sofás com número de assentos igual ao número de leitos; mesa para 4 pessoas; e estante/armário TV.**
- v. Banheiro – Largura mínima: 1,50 m. Quantidade mínima de itens: 1 lavatório sem coluna, 1 bacia sanitária com caixa de descarga acoplada, 1 box com ponto para chuveiro (0,90 m x 0,95 m) com previsão para instalação de barras de apoio e de banco articulado. Assegurar a área para transferência à bacia sanitária e ao box.**
- vi. Área de Serviço - Quantidade mínima de itens: um tanque (52 cm x 53 cm) (cinquenta e dois centímetros por cinquenta e três centímetros) e uma máquina de lavar roupa (60 cm x 65 cm) (sessenta centímetros por sessenta e cinco centímetros). Prever espaço e garantia de acesso**

frontal para tanque e acesso frontal ou lateral para a máquina de lavar roupa. (Redação dada pela Portaria MCID nº 489, de 19 de maio de 2025)

Em relação à acessibilidade, deve ser assegurado um espaço livre de, no mínimo, 1,20 m à frente das portas. Nos banheiros, é necessário possibilitar a inserção de área de manobra com rotação de 360° (diâmetro de 1,50 m), enquanto nos demais ambientes é exigida a rotação de 180° (1,20 m x 1,50 m), conforme os parâmetros da NBR 9050. Ressalta-se que a unidade padrão é classificada como adaptável, permitindo sua conversão em unidade acessível sem a necessidade de modificações nas alvenarias (Brasil, 2023).

Ademais, cabe ressaltar que, conforme a portaria, nos quartos situados nas regiões Norte e Nordeste, devem ser previstos pontos de fixação para redes de descanso, instalados a uma altura entre 1,70 m e 1,90 m do chão, com espaçamento entre 2,90 m e 3,30 m (Brasil, 2023).

Estratégias passivas de conforto

O projeto arquitetônico deve potencializar o uso de estratégias passivas para garantir o conforto nas unidades habitacionais, por meio do aproveitamento da luz natural e da ventilação cruzada. Para isso, é essencial considerar a volumetria da edificação, a seleção apropriada de elementos de vedação, paredes externas e coberturas, bem como a organização e as dimensões das aberturas, os modelos de esquadrias e, sobretudo, as condições climáticas da região (Brasil, 2023).

Ventilação

Nessa conjuntura, conforme a portaria 725/23 (Brasil, 2023, p.22), “Em todas as zonas bioclimáticas (definidas conforme a NBR 15.220-3), para edificações unifamiliares, é obrigatória a garantia de ventilação cruzada, ou seja, o escoamento de ar entre pelo menos duas fachadas diferentes, opostas ou adjacentes”.

Quanto a obrigatoriedade da ventilação noturna, a Diretriz normativa (Brasil, 2023, p.22) que:

- i. Em unidades localizadas nas zonas bioclimáticas 1 e 2 (R e M) e 3 e 4 (A e B), para todas as tipologias, deve ser garantida a ventilação noturna com

segurança em dormitórios; e (Redação dada pela Portaria MCID nº 489, de 19 de maio de 2025)

ii. Em unidades localizadas nas zonas bioclimática 7 e 8, para todas as tipologias, deve ser garantida a ventilação noturna com segurança em ambientes de permanência prolongada – dormitórios e sala.

Ademais, o uso de ventilação mecânica nas unidades habitacionais é, de modo geral, proibido. A única exceção se aplica aos banheiros de moradias situadas nas zonas bioclimáticas 3B, 4B, 5B e 6B, caracterizadas por condições climáticas menos favoráveis à ventilação natural. Mesmo nesses casos, a adoção de sistemas mecânicos somente é permitida mediante comprovação técnica da inviabilidade de garantir a ventilação natural ou por meio de poços de ventilação (Brasil, 2023).

Desempenho

Para comprovação do atendimento ao desempenho térmico mínimo nos ambientes de permanência prolongada das unidades habitacionais (APP), exige-se a apresentação de laudo simplificado conforme os critérios estabelecidos pela NBR 15.575. Nos casos em que o método simplificado não possa ser aplicado, seja por limitações do projeto ou pela presença de barreiras que comprometam a ventilação e a incidência solar, torna-se necessário realizar simulação computacional para essa finalidade (Brasil, 2023).

Ademais, sempre que houver interferências ou particularidades que afetem o desempenho lumínico das unidades, deve ser apresentado laudo específico, também em conformidade com as exigências da referida norma técnica (Brasil, 2023).

3. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

A pesquisa aplicada visa gerar conhecimentos para aplicação prática, desenvolvendo um projeto modelo para habitação de interesse social em climas quentes e úmidos de baixa latitude. Com uma abordagem qualitativa busca-se analisar a climatologia local e os fundamentos bioclimáticos da arquitetura e suas aplicações.

Coleta de dados

- Revisão da literatura disponível sobre climatologia local, fundamentos bioclimáticos da arquitetura, eficiência energética e conforto ambiental. As fontes incluem artigos científicos, livros, teses, dissertações e documentos técnicos;
- Seleção de uma unidade do programa Minha Casa Minha Vida no Maranhão como estudo de caso.

Análise dos dados

Avaliação dos dados coletados na revisão da literatura e no estudo de caso – que consistiu em uma avaliação crítica de um projeto arquitetônico já executado, realizada com base nos parâmetros normativos da NBR 15.575, a fim de proporcionar base teórica para a concepção de um projeto habitacional modelo que atenda às necessidades de conforto térmico e sustentabilidade em climas quentes e úmidos de baixa latitude. Os produtos incluem gráficos, tabelas, análises comparativas etc.

Resultados das Análises

Desenvolvimento de um modelo de unidade habitacional de interesse social baseado nos dados analisados, com foco na adaptação às condições climáticas locais e nos princípios de sustentabilidade, observando-se as diretrizes estabelecidas pela NBR 15.575 e pela Portaria MCID nº 725/2023 como principais norteadoras da proposta.

Considerações finais

Apresentação das principais conclusões obtidas a partir do desenvolvimento do estudo.

4. ESTUDO DE CASO DA UNIDADE DO PROGRAMA MINHA CASA MINHA VIDA NO MARANHÃO RESIDENCIAL MAGNO CRUZ

Vinculado ao Programa Minha Casa Minha Vida, promovido pela União Nacional por Moradia Popular (UNMP) em parceria com a Caixa Econômica, o Residencial Magno Cruz prevê a implantação de 400 unidades habitacionais, com infraestrutura mínima como rede de drenagem, pavimentação, iluminação pública, e equipamentos sociais. O projeto foi concluído em 2014, sob responsabilidade técnica do arquiteto e o urbanista Marcelo Farias (Ferreira, 2023; União Nacional por Moradia Popular, 2014; Farias, 2014).

Figura 17 - Residencial Magno Cruz



Fonte: União Nacional por Moradia Popular, 2018.

4.1. Situação e Implantação

O empreendimento está localizado no bairro São José dos Índios, rua Jaguarana, no município de São José de Ribamar, estado do Maranhão.

A implantação da unidade ocorre em um lote padrão com dimensões de 8,00 metros de largura por 16,00 metros de profundidade, resultando em uma área total de terreno igual a 128 m². Apesar de não se tratar de uma construção geminada, uma das fachadas da edificação está posicionada junto ao limite lateral do terreno, sem afastamento.

Figura 18 - Mapa de situação do Residencial Magno Cruz



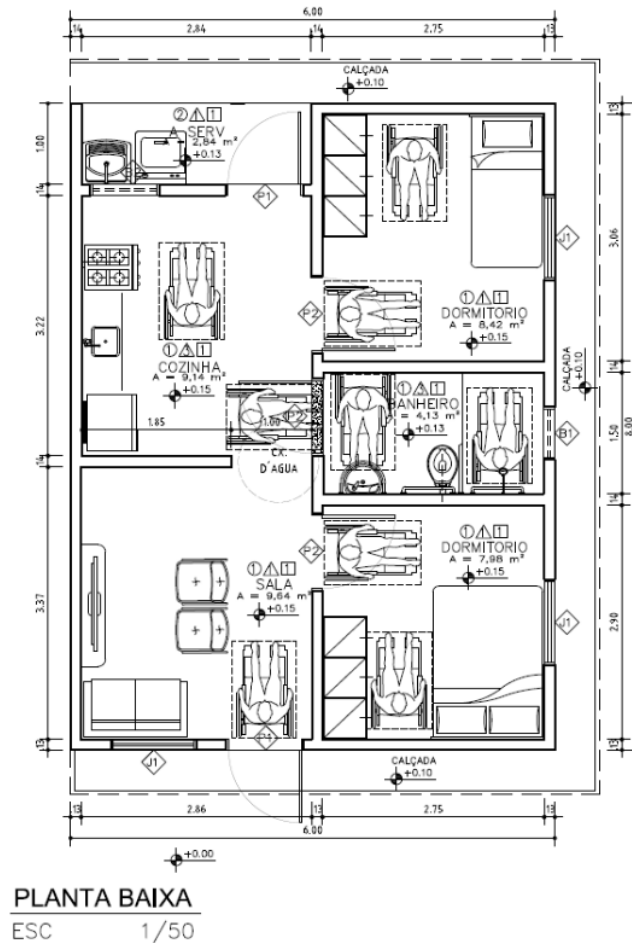
Fonte: Google Earth, 2025.

4.2. Forma do edifício e layout interno

A volumetria observada caracteriza-se por uma forma retangular alongada. A organização espacial apresenta-se de forma compacta e funcional, estruturada por meio de dois módulos interligados. O primeiro módulo abriga os ambientes privados e o banheiro, enquanto o segundo módulo contempla as áreas sociais e de serviço (Figura 19).

O conjunto habitacional é composto por unidades térreas, todas desenvolvidas a partir de uma única tipologia, sem variações no layout interno. A compartimentação dos espaços contempla sala de estar, dois dormitórios, cozinha, área de serviço e banheiro, com pé-direito de 2,50 metros. A área útil total da edificação corresponde a 42,15 m², atendendo aos requisitos mínimos estabelecidos pela legislação vigente para residências térreas.

Figura 19 - Planta baixa da unidade habitacional do residencial Magno Cruz



Fonte: Farias, 2014.

4.3. Dados Construtivos

A envoltória das unidades habitacionais é construída em alvenaria e finalizada com pintura. As esquadrias utilizadas nas áreas externas da edificação são, em sua maioria, confeccionadas em material metálico. Exceção é feita aos ambientes da cozinha e do banheiro, onde se adotam elementos vazados em cobogó pré-moldado. No interior do edifício, o projeto prevê a aplicação de portas em madeira, promovendo um acabamento mais adequado aos ambientes internos.

A cobertura, por sua vez, é composta por telhado aparente com inclinação de 30%, utilizando telhas cerâmicas do tipo canal. Observou-se a inexistência de laje no edifício, sendo o fechamento superior constituído por forro em PVC.

No que se refere aos acabamentos, o projeto estabelece a aplicação de revestimento cerâmico no piso das áreas internas, bem como revestimento cerâmico

a 1,50 metro de altura nas paredes das áreas molhadas. Para as superfícies sujeitas à umidade, é especificada a pintura látex, nos demais ambientes, utiliza-se pintura acrílica.

Figura 20 - Detalhes construtivos das Unidades habitacionais



Fonte: União Nacional por Moradia Popular, 2018.

4.4. Condições ambientais

As condições ambientais das unidades habitacionais analisadas revelam uma preocupação projetual com a orientação solar. Apesar da implantação dos edifícios ocorrer em quatro configurações distintas – o que poderia ocasionar variações no desempenho térmico entre as unidades – constatou-se que, em todas as situações, buscou-se evitar que as aberturas estivessem voltadas diretamente para o poente. Essa estratégia contribui de forma significativa para a redução da incidência de radiação solar nas fachadas mais expostas, especialmente nos ambientes de permanência prolongada.

4.5. Resultados e discussão

4.5.1. Estratégias Passivas de sombreamento e ventilação

A unidade habitacional não apresenta aberturas suficientemente amplas que garantam uma ventilação natural eficaz. Tal constatação é corroborada pela análise do percentual de abertura efetiva de ventilação proporcionado pelas esquadrias previstas em projeto, o qual se mostra insuficiente segundo os critérios estabelecidos pela ABNT NBR 15575, por meio do método simplificado para avaliação

do desempenho térmico, cujo cálculo encontra-se detalhado no Apêndice A deste trabalho.

A ventilação cruzada — fundamental para a renovação do ar e o conforto térmico — é prejudicada pela ausência de janelas posicionadas de forma oposta ou adjacente. Dessa forma, essa estratégia só tende a funcionar de maneira satisfatória quando a porta principal estiver aberta, o que compromete a privacidade e a eficiência térmica do edifício.

Ademais, o emprego de elementos vazados em ambientes como cozinha e banheiro, ainda que se trate de uma solução construtiva simples, desempenha um papel importante no ingresso de iluminação e ventilação natural.

No que se refere ao sombreamento, observa-se que o projeto da unidade habitacional não incorpora dispositivos arquitetônicos capazes de mitigar a incidência direta da radiação solar sobre as aberturas. A ausência de elementos como marquises, beirais com dimensões eficazes, brises-soleil ou quaisquer dispositivos de proteção solar externa compromete significativamente o desempenho térmico da edificação.

4.5.2. Desempenho térmico dos materiais

4.5.2.1. Envoltória

As paredes, executadas em alvenaria, possuem condutividade térmica moderada, característica típica de materiais cerâmicos ou cimentícios. No entanto, sem a incorporação de camadas adicionais de isolamento térmico, esse sistema construtivo torna-se limitado em sua capacidade de resistir ao fluxo de calor. Portanto, a resistência térmica da alvenaria, revela-se insuficiente para garantir conforto térmico em períodos de maior carga térmica, atingindo valor igual a $0,44 \text{ W/m}^2\text{K}$ (demonstrativo do cálculo encontra-se no apêndice A do presente trabalho).

Por outro lado, a aplicação de pintura acrílica em tonalidade clara nas superfícies externas da edificação representa uma medida pontual de mitigação térmica. Essa escolha favorece a redução da absorvidade superficial (α), igual a 0,2 (tonalidades claras, e eleva a refletividade (ρ) da envoltória, contribuindo para o desvio de parte da radiação solar incidente.

4.5.2.2. Cobertura

A telha cerâmica, devido sua condutividade moderada e alta emissividade, tende a acumular calor ao longo do dia — característica indesejável em climas quentes. A inexistência de um ático ventilado ou de subcobertura térmica (como manta aluminizada) resulta no acúmulo de calor na parte superior da edificação, que é então transferido diretamente para o forro.

Nesse contexto, a escolha do forro de PVC como único elemento de fechamento representa uma limitação crítica. Embora o PVC tenha condutividade térmica relativamente baixa entre os materiais sintéticos, sua espessura reduzida e a falta de massa térmica significativa conferem ao sistema uma baixa inércia térmica e reduzida resistência ao fluxo de calor.

4.5.2.3. Piso

O revestimento cerâmico interno aplicado ao piso possui condutividade térmica moderada, essa característica permite certa transferência de calor entre a superfície e o ambiente, o que pode contribuir para o desconforto térmico em climas quentes e úmidos, sobretudo quando há acúmulo de calor interno e ventilação insuficiente.

Na área externa, o uso de piso cimentado, exposto a radiação solar direta, intensifica a absorção e retenção de calor, devido à sua alta capacidade térmica e absorvidade, promovendo o aquecimento do microclima ao redor da edificação e impactando negativamente o conforto térmico nos períodos mais quentes do dia.

4.5.2.4. Esquadrias

As esquadrias metálicas utilizadas na edificação são elementos com alta condutividade térmica (λ), essa propriedade permite que o calor proveniente do exterior seja rapidamente transferido para o interior da edificação, elevando a temperatura dos espaços, particularmente nas áreas de permanência prolongada.

Além de serem condutoras eficientes, as esquadrias metálicas apresentam baixa emissividade (ϵ), o que significa que retêm o calor absorvido e apresentam baixa

capacidade de liberá-lo para o meio externo. Logo, esses elementos tendem a reter o calor e transmiti-lo de forma gradual ao ambiente interno, comprometendo o desempenho térmico do edifício.

4.6. Conclusão

A partir da análise detalhada da envoltória, dos materiais utilizados e das condições ambientais da edificação estudada, conclui-se que o projeto apresenta limitações expressivas quanto ao desempenho térmico passivo e ao conforto ambiental interno.

A predominância de materiais com baixa capacidade isolante, a ausência de sistemas complementares de isolamento térmico na cobertura e a utilização de esquadrias metálicas com alta condutividade prejudicam a resistência ao fluxo de calor, especialmente em clima quente e úmido.

Além disso, a falta de dispositivos arquitetônicos eficazes para sombreamento e a insuficiência das aberturas para ventilação natural e, sobretudo, a ausência de ventilação cruzada adequada, comprometem a renovação do ar e agravam o desconforto térmico interno.

A escolha do forro em PVC, com baixa inércia térmica, e o uso de revestimentos cerâmicos com condutividade moderada reforçam a limitada capacidade da envoltória em atenuar a carga térmica.

Portanto, esses aspectos evidenciam que as soluções construtivas adotadas não são adequadas para o clima quente e úmido da região, uma vez que não promovem isolamento térmico eficaz nem ventilação natural suficiente para reduzir a carga térmica interna. Para melhorar o conforto térmico das unidades habitacionais, seria necessário adotar estratégias passivas específicas, como o uso de materiais com maior capacidade isolante, dispositivos de sombreamento eficientes e a promoção de ventilação cruzada constante.

Somados a tudo isso, as implantações das edificações, nas características acima, são meramente rotacionadas em seus lotes, culminando em casas de mesma tipologia. Desta forma, quando uma unidade habitacional possui ambientes de permanência ventilados a outra, rotacionada, apresenta ambientes quentes e pouco

ventilados. Essa é uma prática antiga que continua sendo replicada, mesmo comprometendo o conforto da edificação.

5. PROJETO MODELO DE HABITAÇÃO UNIFAMILIAR DE INTERESSE SOCIAL PARA SÃO LUÍS

O presente trabalho de conclusão de curso propõe, como produto final, o desenvolvimento de uma Unidade Habitacional de Interesse Social modelo para a cidade de São Luís, no Maranhão. A proposta é fundamentada nos princípios da arquitetura bioclimática, visando soluções projetuais que promovam conforto ambiental, com foco nos aspectos térmico, visual e energético da edificação.

Nesse sentido, foram incorporadas estratégias bioclimáticas que favorecem o desempenho ambiental da habitação, como o sombreamento das fachadas, a ventilação cruzada para renovação do ar e o resfriamento passivo dos ambientes, além do uso otimizado da iluminação natural, contribuindo para a redução da demanda energética.

Adicionalmente, o projeto atende aos critérios técnicos e qualitativos estabelecidos pela Portaria nº 725/2023 do Ministério das Cidades, que orienta a produção habitacional no âmbito do Programa Minha Casa, Minha Vida. Dessa forma, busca-se assegurar uma habitação que combine qualidade arquitetônica, adequação climática e compromisso com a sustentabilidade e a eficiência energética.

5.1. Conceito

A afirmação de Armando Holanda (2018), ao propor que a arquitetura no Nordeste deve ser concebida como uma grande árvore, oferece uma potente metáfora que inspira o conceito central deste Trabalho de Conclusão de Curso.

A analogia proposta por Holanda não se limita a uma representação formal, mas se ancora em aspectos sensoriais, funcionais e climáticos que revelam a essência da habitabilidade natural das árvores. Assim como uma árvore se adapta organicamente ao ambiente em que se insere, oferecendo sombra, proteção e ventilação aos que se abrigam sob sua copa, a habitação aqui proposta busca replicar, na escala arquitetônica, esses atributos fundamentais.

5.2. Partido

A concepção do projeto se orienta, primeiramente, pela ideia de “sombra ampla”, conforme definida por Armando de Holanda (2018, p.17), ou seja, a criação de áreas protegidas da incidência direta do sol e das chuvas tropicais. Essa sombra é garantida por meio de beirais generosos, varandas cobertas e proteções que garantam abrigo adequado.

Na sequência, adota-se o princípio da “sombra aberta”, que, segundo o autor, deve permitir a entrada e a livre circulação da brisa, promovendo a retirada do calor e da umidade acumulada. Essa ideia dialoga diretamente com as orientações de Frota e Schiffer (2001), que reforçam a importância de garantir ventilação por toda a edificação, de modo a favorecer a ventilação cruzada nos ambientes internos.

A terceira diretriz é a “sombra amena”, obtida com o uso de coberturas ventiladas e leves, capazes de refletir e isolar a radiação solar, reduzindo a carga térmica sobre o interior da edificação (HOLANDA, 2018). Essa estratégia evita o acúmulo de calor sob a cobertura e contribui para um ambiente interno mais fresco e saudável, sem necessidade de sistemas mecânicos de climatização.

Por fim, a quarta diretriz consiste na elevação da edificação sobre pilotis. Essa escolha se inspira na arquitetura vernacular indígena, conforme analisado por Rapoport (apud Romero, 2000), que identifica tal prática como uma estratégia eficaz de proteção do piso contra inundações e a umidade proveniente do solo. Ademais, reduz a necessidade de movimentação de terra e favorece a ventilação inferior da edificação, contribuindo para o conforto térmico dos ambientes internos.

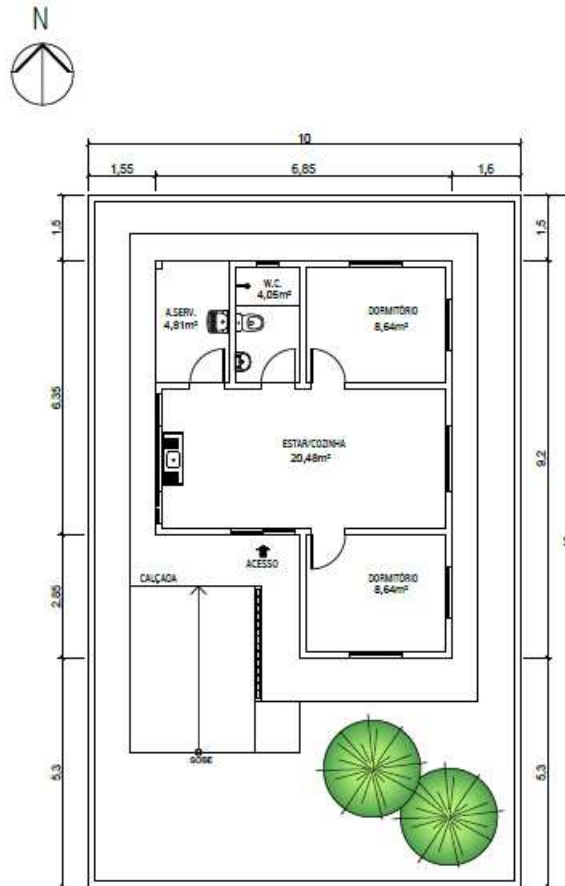
5.3. Implantação

A presente proposta objetiva conciliar conforto ambiental, qualidade de vida dos usuários e eficiência na ocupação do solo urbano. Com base nesses princípios, optou-se por orientar as edificações, sempre que viável, perpendicularmente à direção predominante dos ventos. Essa configuração tem como finalidade potencializar a ventilação cruzada nos ambientes de permanência prolongada, favorecendo a ventilação e iluminação natural.

O partido adotado ancora-se em princípios de conforto térmico passivo, os quais buscam estabelecer uma relação harmônica entre o edifício e as condições climáticas locais. Desta forma, evitou-se a implantação de fachadas junto aos limites do terreno, a fim de potencializar a circulação de ar entre os edifícios, garantindo a permeabilidade do conjunto.

Adicionalmente, foram respeitados rigorosamente os afastamentos mínimos laterais e posterior previstos na legislação urbanística municipal, o que assegura não apenas a conformidade legal do projeto, mas também aprimora as condições de ventilação, insolação e privacidade entre as unidades.

Figura 21: Planta de Implantação



① PLANTA DE IMPLANTAÇÃO
ESC.: 1 / 100

Fonte: Autoral, 2025.

5.4. O edifício

A concepção do edifício partiu da proposta de desenvolver uma unidade habitacional de interesse social que integrasse conforto ambiental, eficiência energética e os critérios estabelecidos pelo programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV).

A organização espacial foi estruturada a partir de um núcleo central de uso social — formado por sala e cozinha integradas — que articula o acesso às áreas íntimas e de serviço. O projeto atende plenamente ao programa de necessidades básico do PMCMV, tanto no número mínimo de cômodos quanto nas exigências relacionadas ao mobiliário previsto para cada ambiente. A unidade possui área útil de 46,62 m², compatível com os parâmetros técnicos e normativos do programa.

A edificação foi implantada de forma elevada em relação ao solo, adotando uma solução que contribui para a proteção contra umidade, alagamentos e facilita a ventilação natural sob a estrutura. Além disso, essa escolha reduz a necessidade de movimentação de terra, otimizando o processo construtivo e os custos da obra.

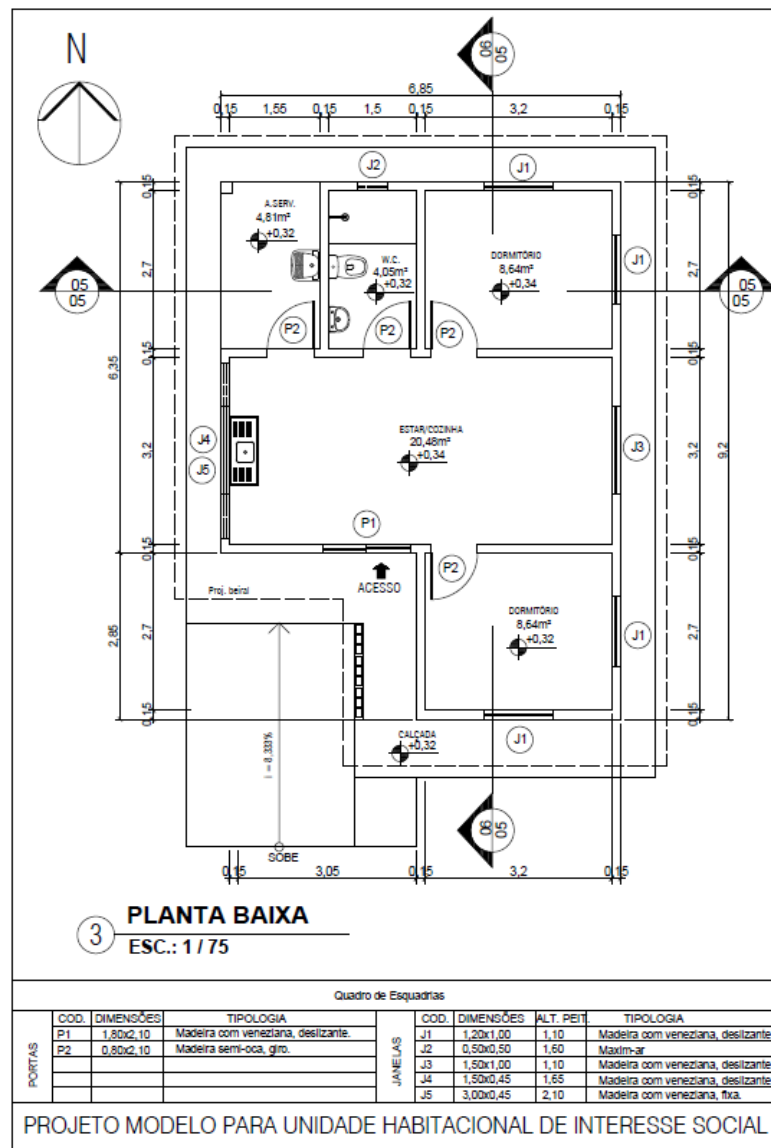
Para assegurar o conforto térmico e o desempenho passivo, a cobertura apresenta inclinação de 30%, associada ao uso de telhas cerâmicas claras e beirais amplos, proporcionando sombreamento eficiente às fachadas, protegendo os ambientes internos da radiação solar direta. Complementarmente, a aplicação de manta térmica ou isolantes econômicos na face interna da cobertura aprimora o isolamento térmico, minimizando a transferência de calor para o interior.

A ventilação cruzada, princípio fundamental do projeto, é assegurada pela disposição estratégica de janelas do tipo veneziana em madeira em fachadas opostas e adjacentes, combinada com o dimensionamento adequado das esquadrias. As portas de madeira incluem um modelo veneziana deslizante, que possibilita ventilação contínua mesmo quando fechada, enquanto as demais são semi-ocais com abertura de giro. A escolha por esquadrias de madeira, do tipo veneziana, se justifica pela baixa condutividade térmica, resistência à umidade e eficiência no sombreamento passivo.

Em relação à envoltória, recomenda-se o uso de blocos cerâmicos de quatorze centímetros de espessura, que apresentam transmitância térmica satisfatória quando associada à aplicação de argamassa em ambas as faces e pintura

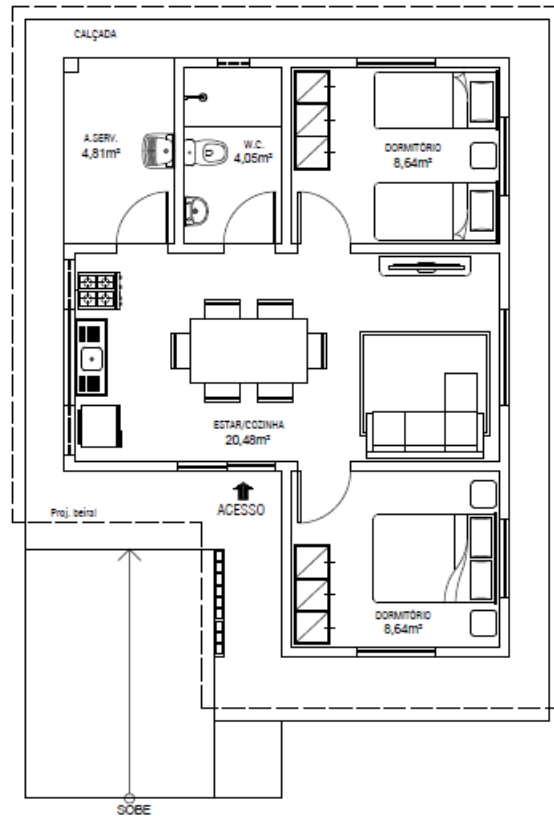
externa em tonalidade clara, o que contribui para a redução da absorção de calor pela alvenaria. Para fachadas com maior exposição à radiação solar, especialmente as voltadas para o oeste, a inserção de placas de EPS como isolamento térmico complementar constitui uma estratégia eficiente e de baixo custo, reforçando o desempenho da parede sem comprometer a viabilidade econômica do projeto.

Figura 22 - Planta baixa



Fonte: Autoral, 2025.

Figura 23 -Planta de layout



4 PLANTA DE LAYOUT
ESC.: 1/75

Fonte: Autoral, 2025.

5.5. Estudo bioclimático

A análise bioclimática das diferentes orientações de implantação revelou que os eixos Noroeste–Sudeste (NO/SE) e Norte–Sul (N/S) oferecem melhor desempenho ambiental para a tipologia habitacional analisada. Nessas orientações, os ambientes de permanência prolongada estão dispostos de modo a favorecer a ventilação natural, uma vez que estão posicionadas perpendicularmente à direção dos ventos predominantes, oriundos dos quadrantes leste e nordeste. A presença de aberturas em fachadas opostas ou adjacentes, voltadas para esses quadrantes,

possibilita a ventilação cruzada, recurso essencial para a promoção do conforto térmico passivo em contextos de clima quente e úmido, como o de São Luís/MA.

A análise bioclimática das orientações Nordeste–Sudoeste (NE/SO) e Leste–Oeste (L/S) indica que ambas apresentam limitações em relação ao desempenho térmico e à ventilação natural. Tais orientações mostram-se menos eficazes, pois, embora permita certo aproveitamento da ventilação, a disposição das fachadas das áreas de permanência prolongada não está idealmente alinhada aos ventos predominantes. Essa condição exige estratégias complementares, como sombreamento e ventilação auxiliar, especialmente nas fachadas voltadas para o poente, que sofrem maior carga térmica.

Cabe ressaltar, que a base para a realização das análises bioclimáticas encontra-se no Apêndice deste trabalho (apêndices H, I, J, K), onde estão reunidos os estudos gráficos que subsidiaram a avaliação das diferentes orientações de implantação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento desta pesquisa reafirma a urgente necessidade de redefinir a relação entre o ser humano e a natureza, especialmente diante dos crescentes impactos ambientais causados pelas ações antrópicas. As mudanças climáticas globais, cada vez mais evidentes, exigem uma transformação profunda nessa relação, de modo a favorecer práticas sustentáveis em todas as esferas da vida, incluindo o ambiente construído. Nesse contexto, a arquitetura exerce um papel fundamental, pois, por meio da aplicação correta de estratégias bioclimáticas, é possível conceber edificações mais eficientes, sustentáveis e adaptadas às condições locais.

Diante do cenário energético atual — marcado por instabilidades decorrentes de fatores geopolíticos, ambientais e pelo esgotamento de recursos — a eficiência energética das edificações torna-se um aspecto essencial e inadiável. A crise energética global evidencia a necessidade de soluções arquitetônicas que reduzam a demanda por energia artificial e promovam o conforto térmico de maneira passiva. Nesse sentido, a presente pesquisa foi motivada pelos impactos negativos da baixa eficiência energética observada em grande parte das habitações brasileiras, sobretudo aquelas destinadas à população de baixa renda.

A proposta de uma Unidade Habitacional de Interesse Social modelo, adaptada ao clima tropical quente e úmido de São Luís, fundamenta-se em soluções projetuais que valorizam o sombreamento, a ventilação natural, o uso da luz natural e o resfriamento passivo dos ambientes. Essas estratégias bioclimáticas, quando corretamente aplicadas, contribuem não apenas para o desempenho ambiental da edificação, mas também para a redução dos custos operacionais, sendo especialmente relevantes em contextos de vulnerabilidade socioeconômica.

É importante destacar que a população de baixa renda tende a ser a mais afetada pelos desconfortos térmicos e pela chamada pobreza energética, em razão das desigualdades sociais e da limitação de acesso a moradias de qualidade. Dessa forma, torna-se imprescindível que os projetos habitacionais voltados a esse público atendam às necessidades básicas de conforto e bem-estar, contribuindo para a promoção da dignidade e da equidade socioespacial.

Adicionalmente, reconhece-se a relevância do Programa Minha Casa, Minha Vida (PMCMV) no enfrentamento do déficit habitacional brasileiro e os avanços trazidos por normativas como a Portaria nº 725/2023, que estabelece critérios mínimos de qualidade e conforto ambiental nas habitações populares. No entanto, ressalta-se a importância da atuação efetiva do poder público na fiscalização do cumprimento dessas diretrizes. Como evidenciado por avaliações pós-ocupação realizadas com beneficiários do programa, ainda são recorrentes relatos sobre a baixa qualidade das unidades entregues, o que compromete a eficácia das políticas habitacionais em garantir moradias dignas e eficientes.

Assim, esta pesquisa reforça que a arquitetura, aliada a práticas projetuais conscientes e ao compromisso com a sustentabilidade, pode contribuir significativamente para a construção de cidades mais resilientes, inclusivas e energeticamente eficientes, sobretudo quando voltada à população em maior situação de vulnerabilidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORE, Caio Santo; SHIMBO, Lúcia Zanin; RUFINO, Maria Beatriz Cruz (org.). **Minha casa... e a cidade? Avaliação do Programa Minha Casa Minha Vida em seis estados brasileiros**. 1. ed. Rio de Janeiro: Letra Capital, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Desempenho térmico de edificações – Parte 3**: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Projeto 02:135.07-001/3:2003. Rio de Janeiro: ABNT, 2003. 23 p.

BRASIL. Ministério das Cidades; SECRETARIA DE ASSUNTOS ESTRATÉGICOS DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA; INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. Pesquisa de satisfação dos beneficiários do Programa Minha Casa Minha Vida. Coordenação técnica de Fernando Garcia de Freitas e Érica Negreiros de Camargo. Brasília: MCIDADES; SNH; SAE-PR; IPEA, 2014. 120 p. ISBN 978-85-7811-239-4.

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

BALBIM, Renato Nunes (2022): **Do Casa Verde e Amarela ao Banco Nacional da Habilitação, passando pelo Minha Casa Minha Vida**: Uma avaliação da velha nova política de desenvolvimento urbano, Texto para Discussão, No. 2751, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), Brasília, <https://doi.org/10.38116/td2751>.

CARMONA, Ronaldo. A guerra na Ucrânia: uma análise geopolítica. CEBRI-Revista, Ano 1, n. 3, jul.-set. 2022, p. 101. Centro Brasileiro de Relações Internacionais – CEBRI. Disponível em: < https://biblioteca.unisced.edu.mz/bitstream/123456789/2732/1/REA%20CEBRI-Revista_3a%20Bedicao_Jul-Set-2022_Carmona%20%281%29.pdf >. Acesso em: 28 jun. 2025.

CARVALHO, Aline Werneck Barbosa; STEPHAN, Italo Itamar Caixeiro. **Eficácia social do Programa Minha Casa Minha Vida**: discussão conceitual e reflexões a

partir de um caso empírico. Cadernos Metr pole, São Paulo, v. 18, n. 35, p. 283–307, abr. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/2236-9996.2016-3513>.

CORBELLA, Oscar. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos: conforto ambiental**. 2^a di o. Rio de Janeiro: Revan, 2009.

FARIAS, Marcelo. **Projeto arquitetônico – Residencial Magno Cruz: planta baixa, cortes, fachadas e especifica es**. São José de Ribamar: Associa o Estadual de Moradia Popular, maio 2014. 1 prancha.

FERREIRA, Karine; ZAMBRANO, Letícia. **Avalia o da qualidade de habita es do Programa Minha Casa Minha Vida**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO – SBQP, 6., 2019, Uberlândia. **Anais eletr nicos...** Uberlândia: PPGAU/FAUeD/UFU, 2019. p. 1074–1087. DOI: <https://doi.org/10.14393/sbqp19098>.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de conforto térmico: arquitetura, urbanismo**. 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

GERALDI, M. S. et al. **Análise longitudinal do consumo de energia elétrica do setor residencial no Brasil**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO – ENTAC, 19., 2022, Canela. Anais [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. 1–14.

LAMBERTS, Roberto et al. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3. ed. Rio de Janeiro: Eletrobras, Procel, Procel Edifica, 2014.

MELO, Sarah Silva de. **Análise comparativa entre programas governamentais de habita o: Programa Minha Casa Minha Vida e Programa Casa Verde e Amarela**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Contábeis) – Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Escola de Gestão e Negócios, Goiânia, 2021.

MIRANDA, Leila Mourão. **Sobre história, sustentabilidade e crise energética.** Revista Brasileira de História, São Paulo, v. 43, n. 92, p. 15-28, 2023. Disponível em: < <https://doi.org/10.1590/1806-93472023v43n92-03> >.

NETO, Vicente Correia Lima; KRAUSE, Cleandro; FURTADO, Bernardo Alves. **O déficit habitacional intrametropolitano e a localização de empreendimentos do programa Minha Casa Minha Vida:** mensurando possibilidades de atendimento. Texto para Discussão nº 2044. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA, 2015. Disponível em: < <https://hdl.handle.net/10419/121670> >. Acesso em: 29 jun. 2025.

RABELO, Augusto Henrique Alves; NUNES, André; SILVA JÚNIOR, Luiz Honorato da. **Governança e arranjos institucionais no Programa Minha Casa, Minha Vida:** uma revisão sistemática de literatura. Boletim de Conjuntura, Boa Vista, v. 18, n. 52, p. 486–506, 2024. Disponível em: <http://www.ioles.com.br/boca>. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.11177235>. Acesso em: 28 jun. 2025.

ROMERO, Marta Adriana B. **Princípios Bioclimáticos para o Desenho Urbano.** São Paulo: CopyMarket.com, 2000.

SAMPAIO, Francisco Coelho. **Estado do Maranhão, 4º ou 5º ano.** Volume único. 1ª Edição. São Paulo: Editora Scipione, 2014.

SILVA, Mariana Almeida da; BEBER, Paola Costa. **Crise energética no Brasil:** o papel da construção civil no desenvolvimento sustentável. In: ENSUS 2022 – X Encontro de Sustentabilidade em Projeto, Marabá – UNIFESSPA, 22 a 24 de junho de 2022. Disponível em: < <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/245115/Vol.%208%201027%20-%201036.pdf?sequence=1&isAllowed=y> >. Acesso em: 28 jun. 2025.

VAN LENGEN, Johan. **Manual do arquiteto descalço.** 2ª edição. Porto Alegre: Bookman, 2021.

VEIGA, Clara Zibetti Matuella et al. **O impacto da varanda no desempenho térmico de uma HIS.** In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. Anais [...]. Maceió: ANTAC, 2024.

REFERÊNCIAS DIGITAIS

CLIMATEMPO. Climatologia: São Luís – MA. Disponível em: < <https://www.climatempo.com.br/climatologia/94/saoluis-ma> >. Acesso em 23 de jun. 2025.

CONTROLADORIA-GERAL DA UNIÃO (CGU). Minha Casa Minha Vida: 56,4% dos imóveis avaliados apresentam defeitos na construção. Brasília, DF, 16 ago. 2017. Disponível em: < <https://www.gov.br/cgu/pt-br/assuntos/noticias/2017/08/minha-casa-minha-vida-56-4-dos-imoveis-avaliados-apresentam-defeitos-na-construcao> >. Acesso em: 29 jun. 2025.

Efeito Chaminé. Projeteee, 2025. Disponível em: < <http://www.mme.gov.br/projeteee/implementacao/efeito-chamine/> >. Acesso em 23 de jun. 2025.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (Brasil). Balanço Energético Nacional 2023: ano base 2022. Rio de Janeiro: EPE, 2023. 274 p. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-748/topico-687/BEN2023.pdf>>. Acesso em: 16 jul. 2025.

EQUATORIAL ENERGIA S.A. Comentários de desempenho – 4º trimestre de 2019 (4T19). Brasília: Equatorial Energia, 22 maio 2020. 77 p. Disponível em: < <https://financenews.com.br/wp-content/uploads/2020/05/Equatorial.pdf> >. Acesso em: 7 jul. 2025.

EQUATORIAL ENERGIA. Grupo Equatorial apresenta balanço de ações do ano de 2023 e investimentos para 2024. Equatorial Amapá, 2024b. Disponível em: < <https://ap.equatorialenergia.com.br/grupo-equatorial-apresenta-balanco-de-acoes-do-ano-de-2023-e-investimentos-para-2024/> > . Acesso em: 7 jul. 2025.

FANTON, Hugo. UNMP promove em São Luís-MA o curso Autogestão na Produção da Moradia. *Autogestão e Moradia*, 9 nov. 2018. Disponível em: < <https://autogestao.unmp.org.br> >. Acesso em: 1 jul. 2025.

FERREIRA, Antenor. Hildo Rocha diz que as 400 casas do Residencial Magno Cruz, em São José de Ribamar, serão entregues em agosto de 2024. Antenor Ferreira.com, 27 dez. 2023. Disponível em: < antenorferreira.com >. Acesso em: 1 jul. 2025.

CNN Brasil. Crise energética ameaça recuperação global, diz Agência Internacional de Energia. CNN Brasil, 14 out. 2021. Disponível em: < https://www.cnnbrasil.com.br/economia/macroeconomia/crise-energetica-ameaca-recuperacao-global-diz-agencia-internacional-de-energia/?utm_source=chatgpt.com >. Acesso em: 5 jul. 2025.

FERREZ JR. Série Energia: Mudança climática desafia segurança energética global.” *Jornal da USP – Campus Ribeirão Preto*, 6 dez. 2024. Disponível em: < <https://jornal.usp.br/campus-ribeirao-preto/serie-energia-mudanca-climatica-desafia-seguranca-energetica-global/> >. Acesso em: 5 jul. 2025.

INSTITUTO DE ENERGIA DA PUC-RIO (IEPUC). Panorama do setor energético mundial. *Boletim IEPUC*, Ano 1, Edição 03, abril de 2022. Disponível em: < <https://www.puc-rio.br> >. Acesso em: 6 jul. 2025.

INSTITUTO MARANHENSE DE ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS E CARTOGRÁFICOS (IMESC). Consumo de Energia Elétrica – Total (kWh). São Luís: Governo do Estado do Maranhão, 2024. Disponível em: < <https://dataimesc.imesc.ma.gov.br/series/822/show> >. Acesso em: 6 jul. 2025.

MARTINO, Giovana. Como usar elementos vazados na arquitetura residencial. *ArchDaily Brasil*, 12 abr. 2022. ISSN 0719-8906. Disponível em: < <https://www.archdaily.com.br/br/978908/como-usar-elementos-vazados-na-arquitetura-residencial> >. Acesso em: 23 jun. 2025.

MILNE, Murray; LIGGETT, Robin; AL-SHAAALI, Rashed. Climate Consultant 6.0 (Build 16). Society of Building Science Educators – SBSE; University of California, Los Angeles, 2021. Disponível em: < <https://www.sbse.org/resources/climate-consultant> >. Acesso em: 16 jul. 2025.

Ministério de Minas e Energia – MME. Sombreamento. ProjetEEE – Projetando Edificações Energeticamente Eficientes. Disponível em: < <http://www.mme.gov.br/projeteee/implementacao/tipos-de-protecao-solar/> >. Acesso em 23 de jun. 2025.

União Nacional por Moradia Popular. MA – Residencial Magno Cruz. São Luís (MA), 27 fev. 2014. Disponível em: < unmp.org.br >. Acesso em: 29 jun. 2025.

APÊNDICE A - VERIFICAÇÃO DO PERCENTUAL DE ABERTURA PARA VENTILAÇÃO PARA O RESIDENCIAL MAGNO CRUZ

Tabela 7 - Verificação do Percentual de abertura para ventilação (Método Simplificado – NBR 15575) para o Residencial Magno Cruz

Item	Área do piso do APP (m ²)	Tipo de Janela	Área Total da Janela (m ²)	Área Efetiva (m ²)	Percentual de Abertura Efetiva (%)	Exigência da NBR 15575	Atende ?
APP1	8,42	Deslizante	1,1	0,55	6,53%	≥ 8%	Não
APP2	7,98	Deslizante	1,1	0,55	6,89%	≥ 8%	Não
APP3	9,69	Deslizante	1,1	0,55	5,67%	≥ 8%	Não

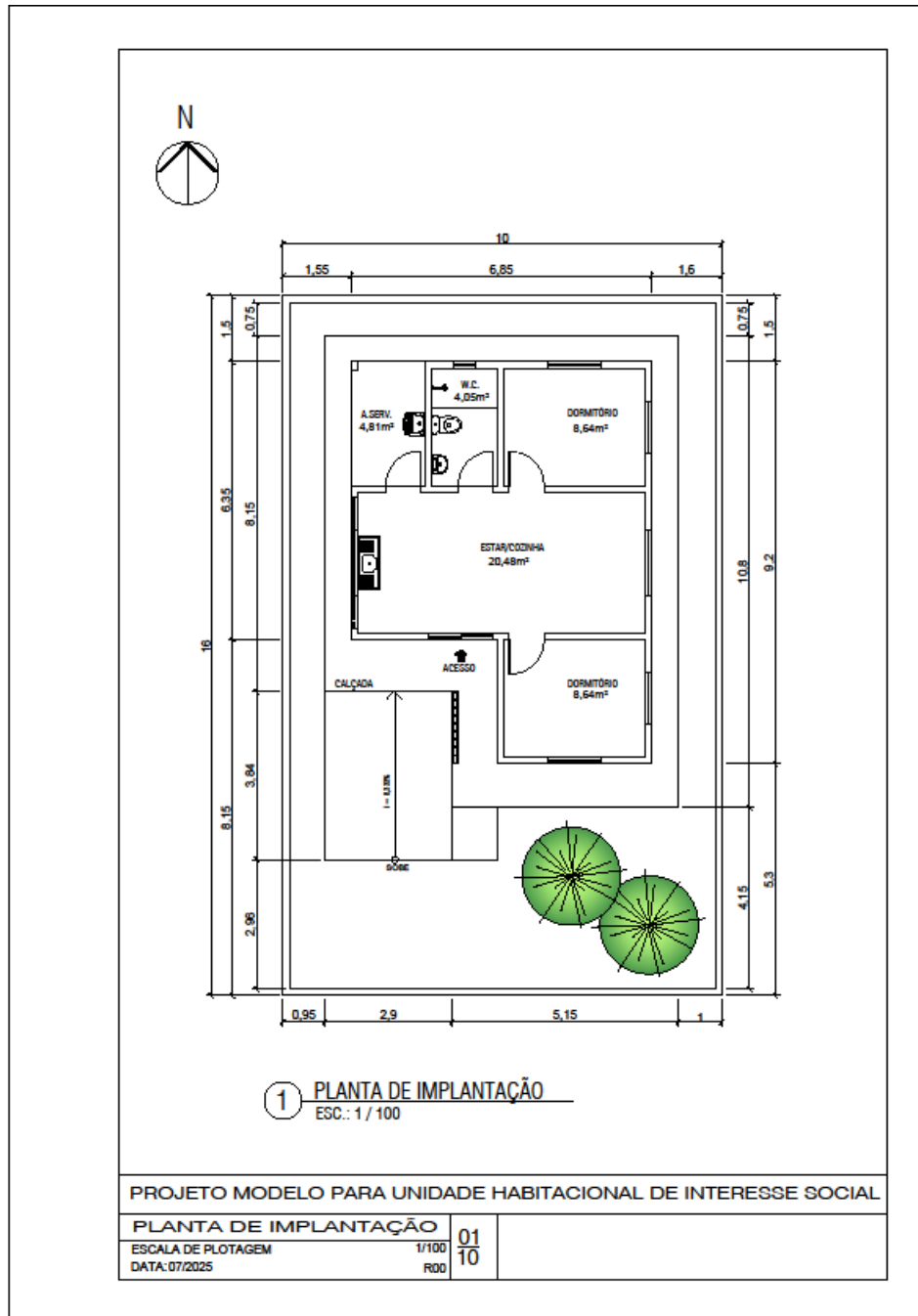
Fonte: Autoral, 2025.

Tabela 8 - Resistência térmica da Envoltória do Residencial Magno Cruz

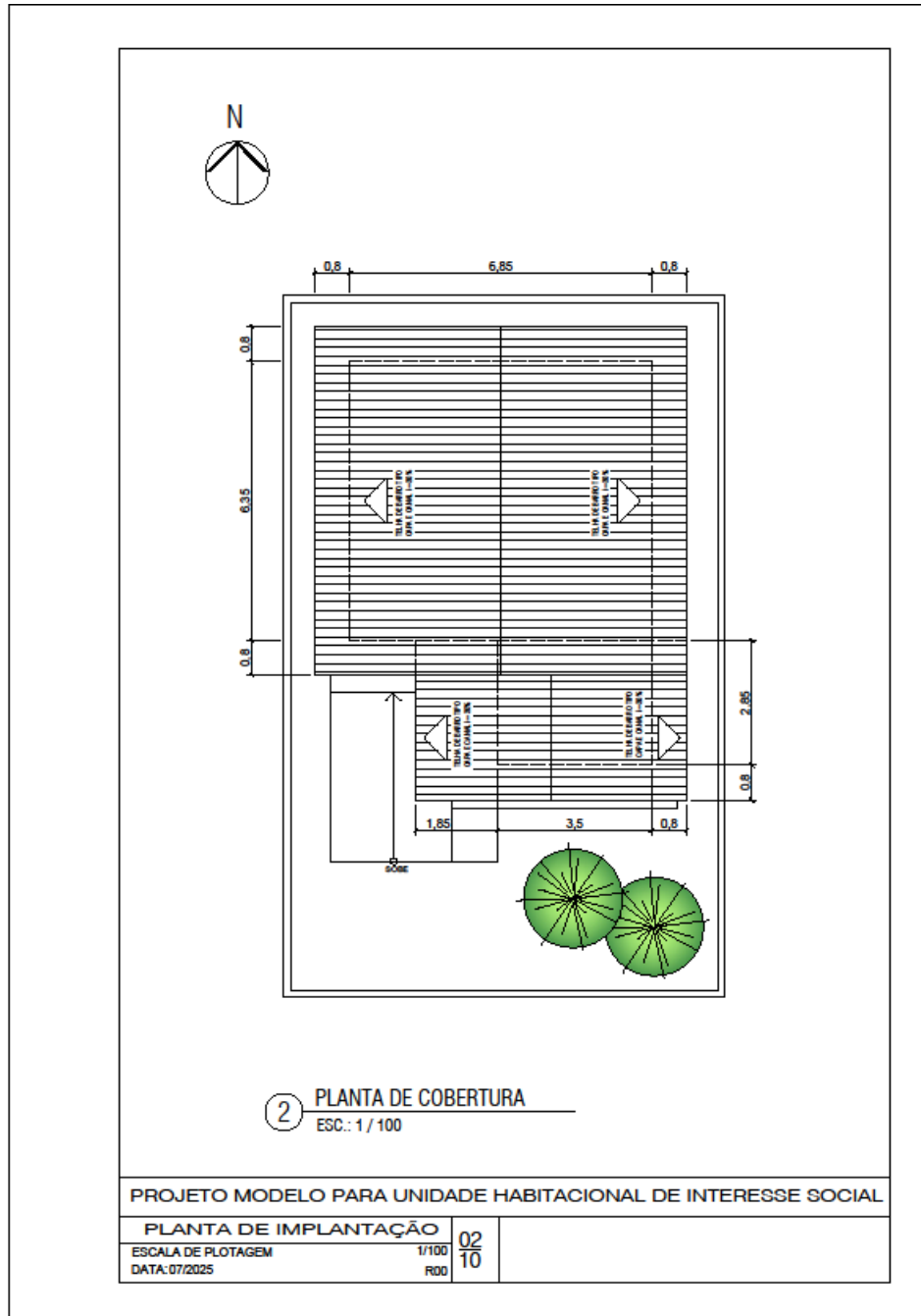
Resistência Térmica		
Item	Transmitância Térmica (U, W/m ² K)	Resistência Térmica (R = 1/U)
Envoltória	2,27	0,44

Fonte: Autoral, 2025.

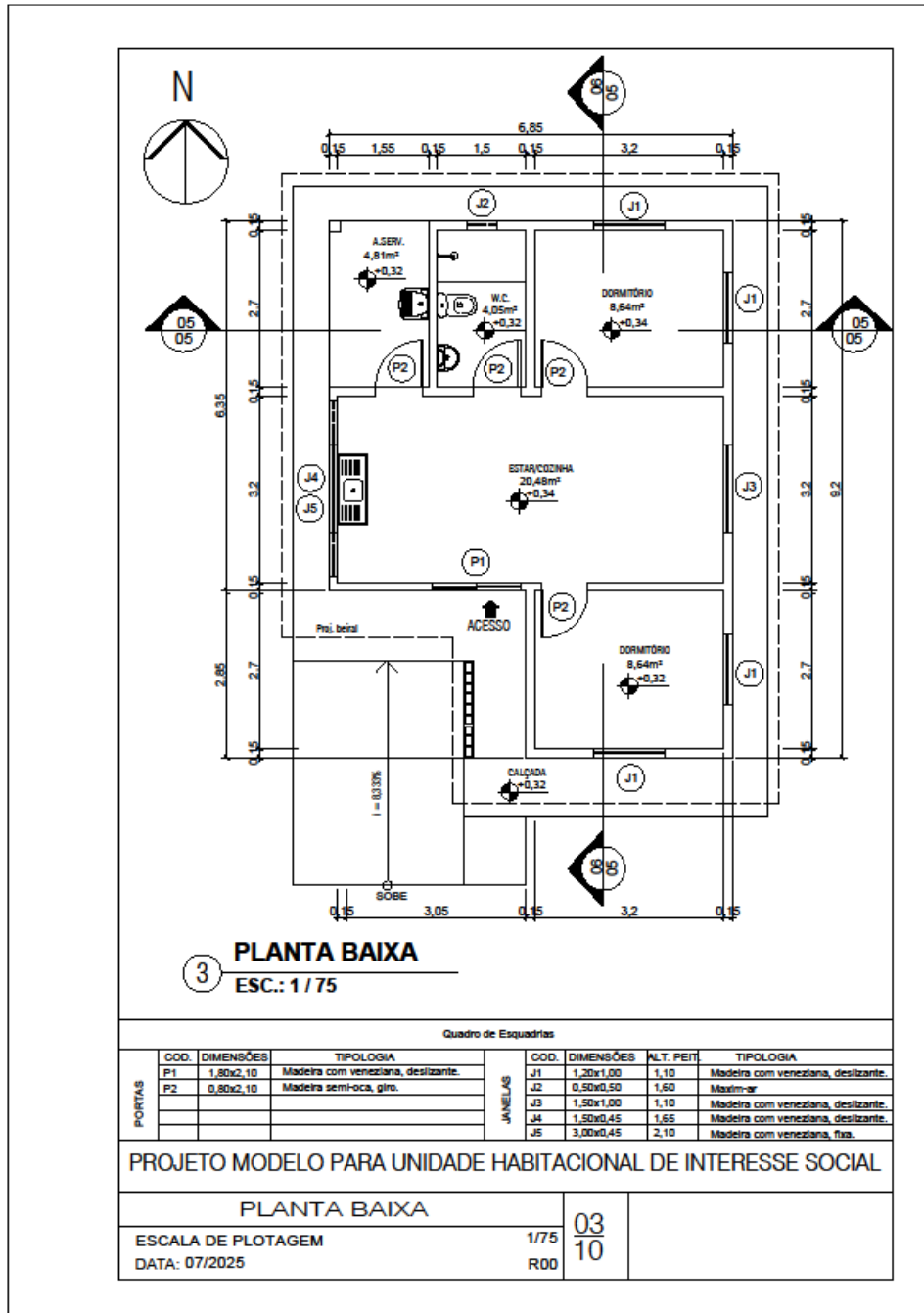
**APÊNDICE B – PROJETO MODELO PARA UNIDADE DE INTERESSE SOCIAL:
PLANTA DE IMPLANTAÇÃO**



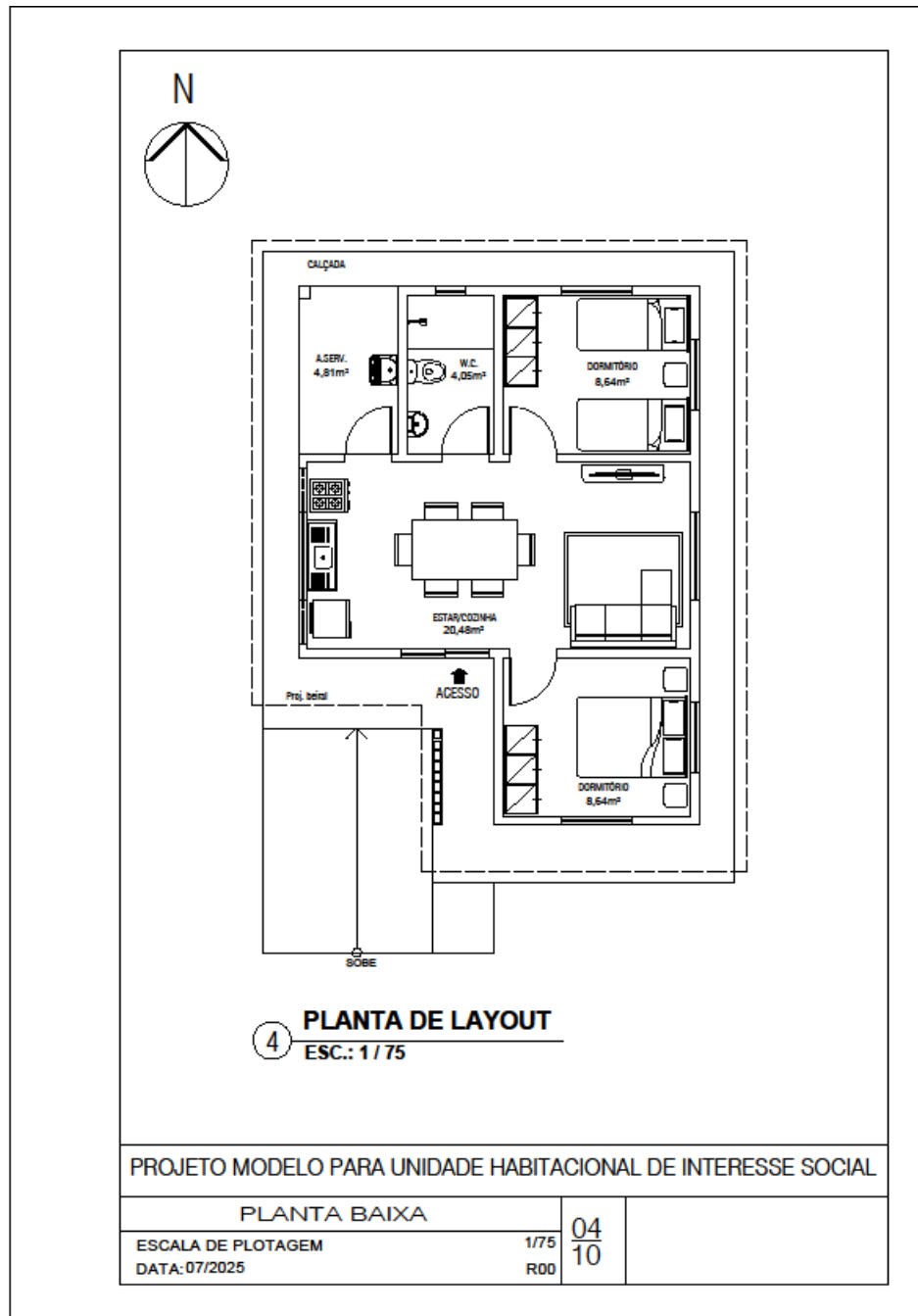
**APÊNDICE C – PROJETO MODELO PARA UNIDADE DE INTERESSE SOCIAL:
PLANTA DE COBERTURA**



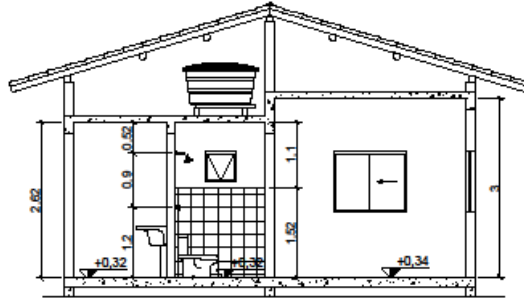
**APÊNDICE D – PROJETO MODELO PARA UNIDADE DE INTERESSE SOCIAL:
PLANTA BAIXA**



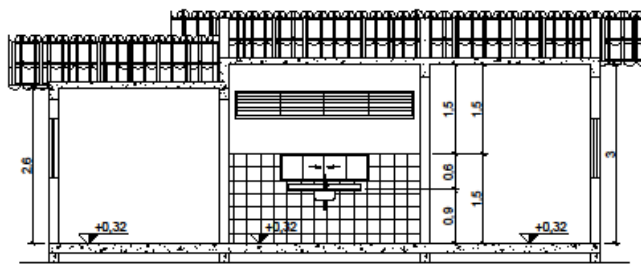
**APÊNDICE E – PROJETO MODELO PARA UNIDADE DE INTERESSE SOCIAL:
PLANTA DE LAYOUT**



**APÊNDICE F – PROJETO MODELO PARA UNIDADE DE INTERESSE SOCIAL:
CORTES**



5 CORTE TRANSVERSAL
ESC.: 1/75

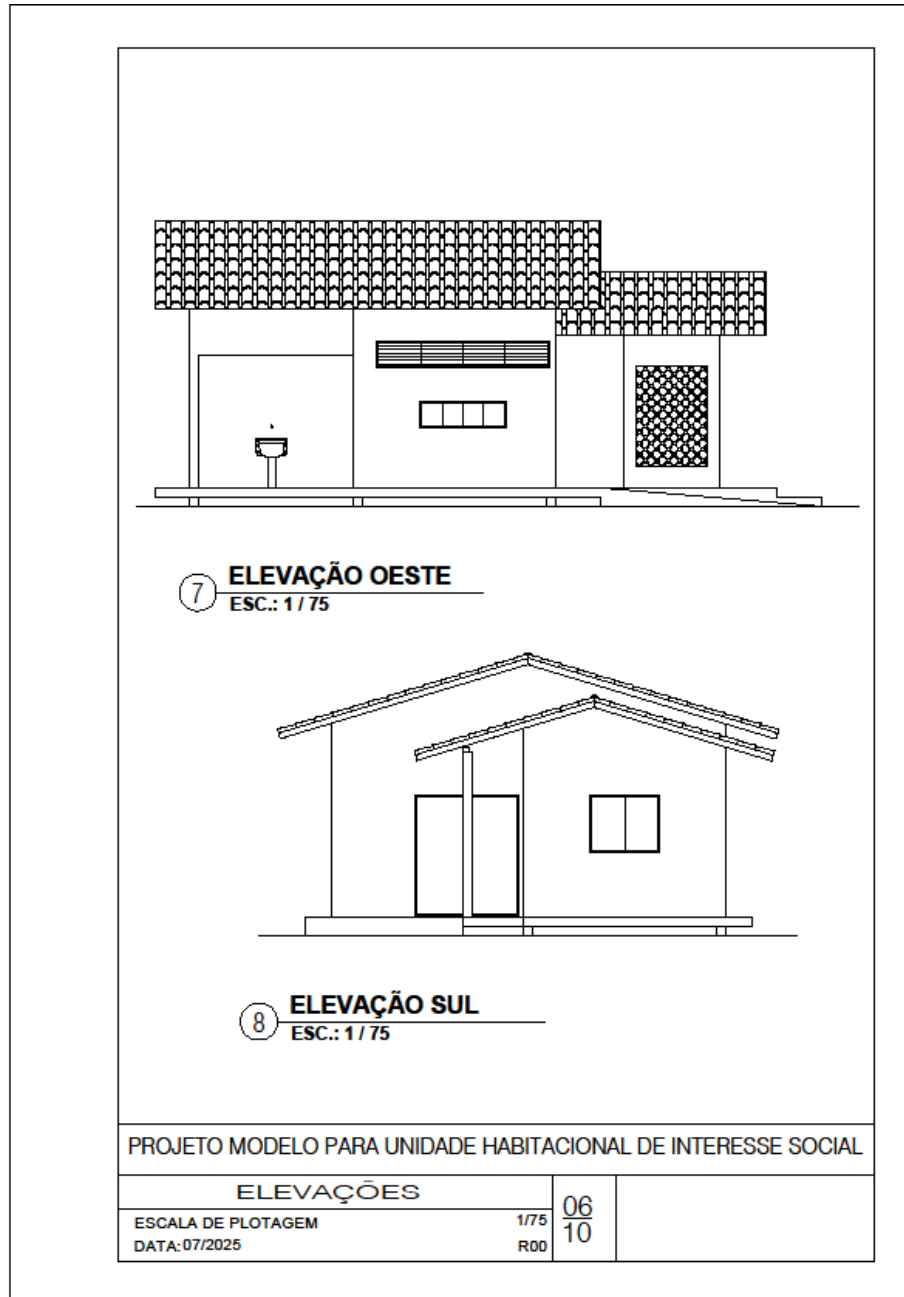


6 CORTE LONGITUDINAL
ESC.: 1/75

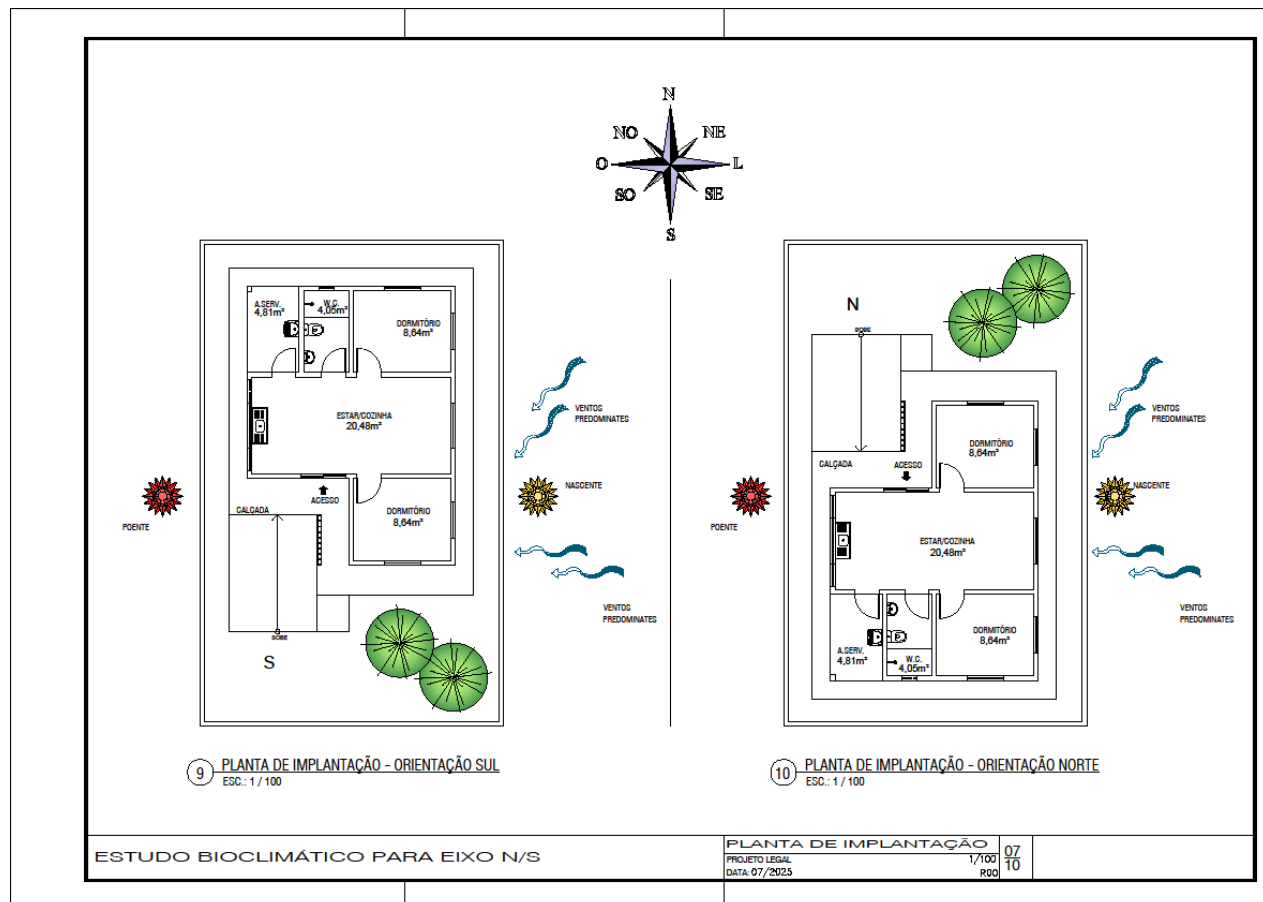
PROJETO MODELO PARA UNIDADE HABITACIONAL DE INTERESSE SOCIAL

CORTES		05 10
ESCALA DE PLOTAGEM DATA: 07/2025	1/75 R00	

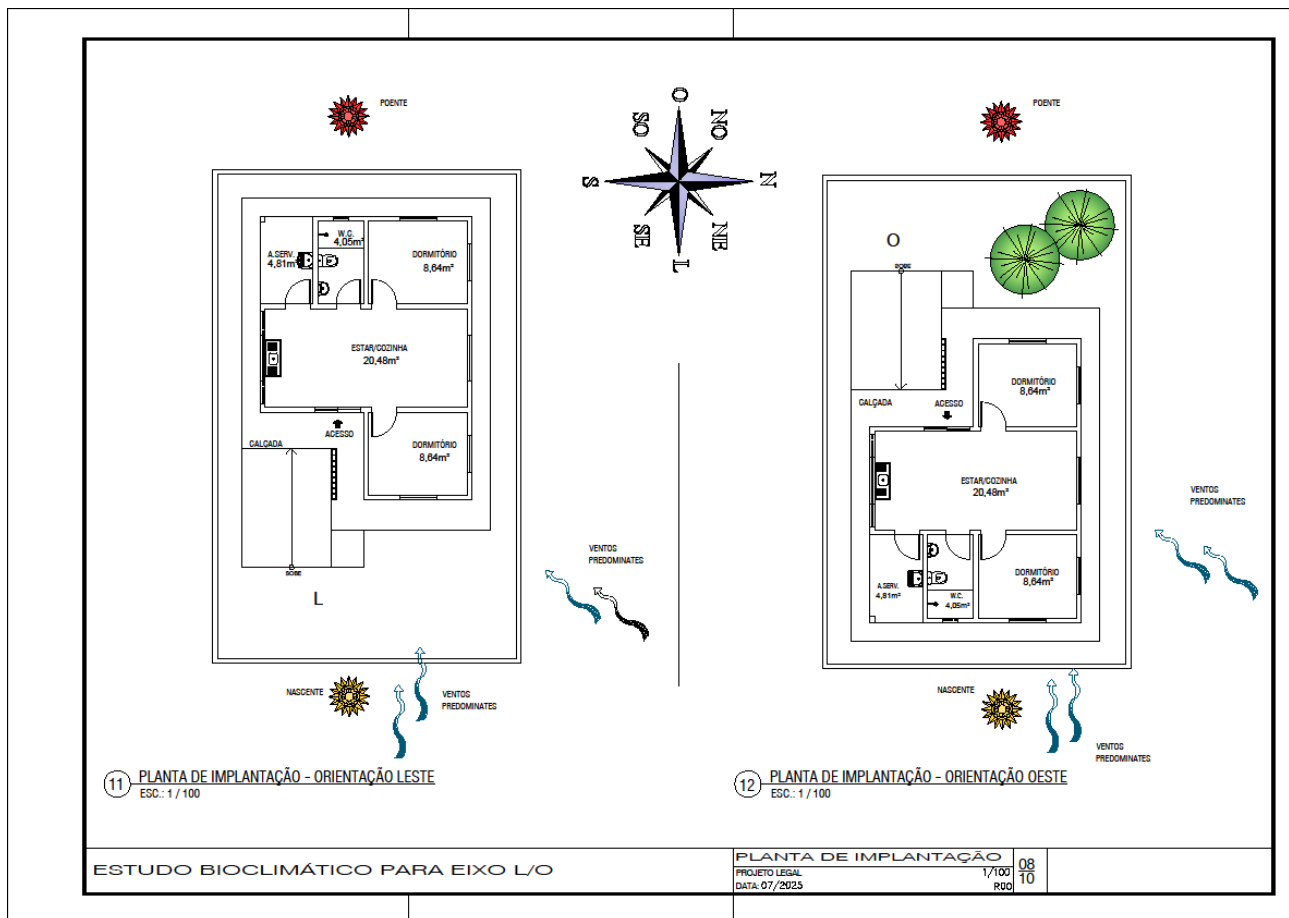
**APÊNDICE G – PROJETO MODELO PARA UNIDADE DE INTERESSE SOCIAL:
ELEVAÇÕES**



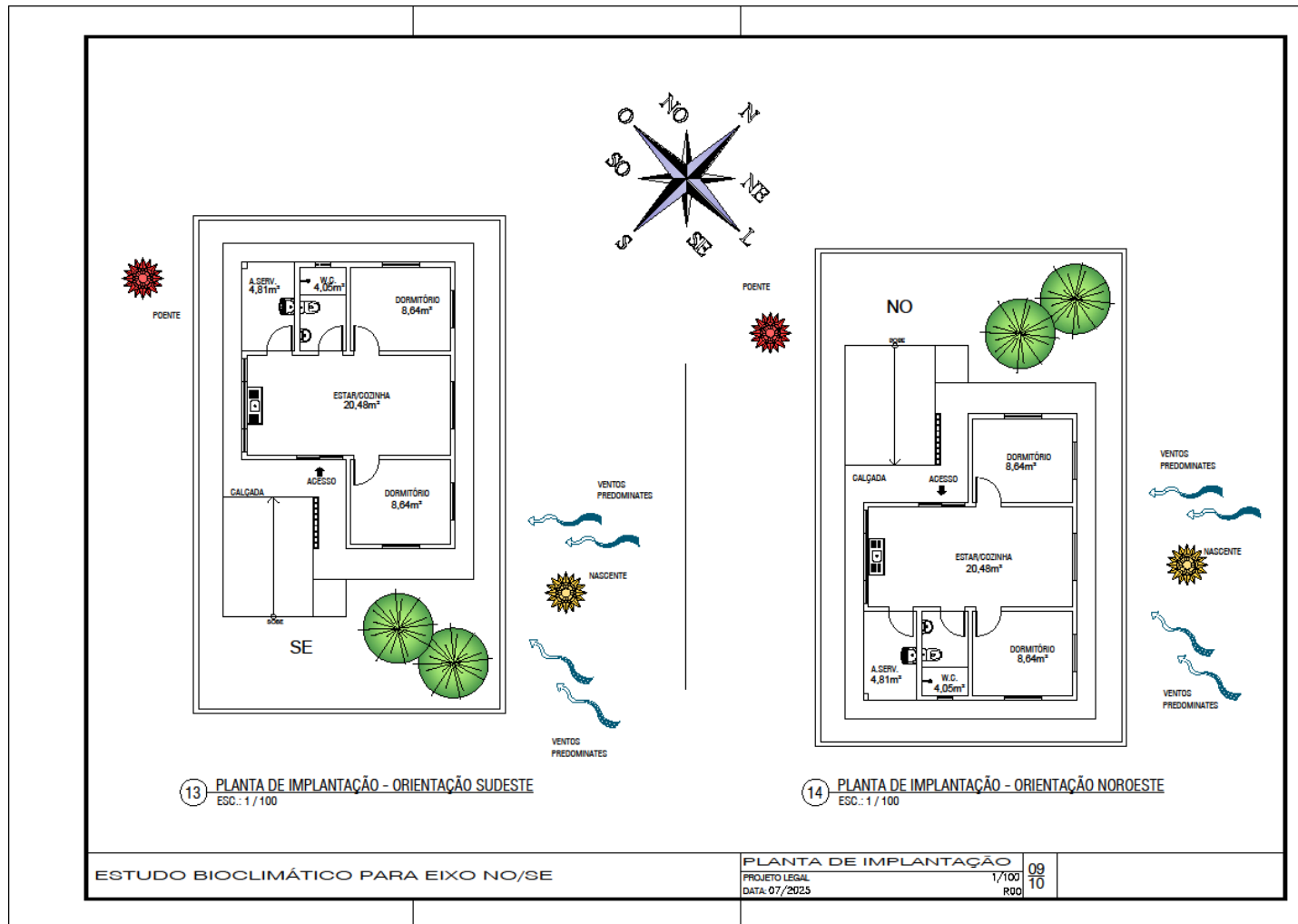
APÊNDICE H – PROJETO MODELO PARA UNIDADE DE INTERESSE SOCIAL: ESTUDO BIOCLIMÁTICO ORIENTAÇÃO NORTE/SUL



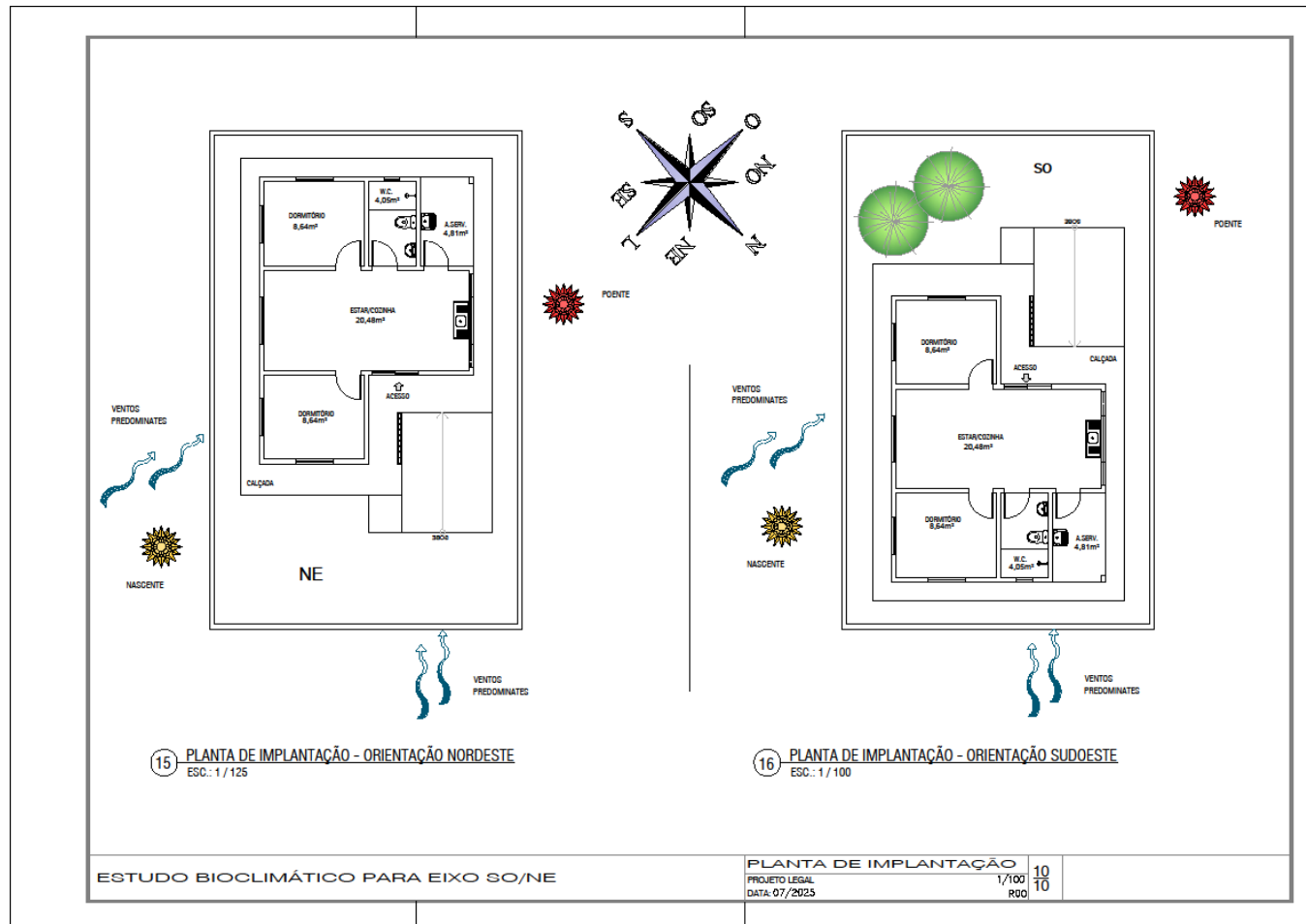
APÊNDICE I – PROJETO MODELO PARA UNIDADE DE INTERESSE SOCIAL: ESTUDO BIOCLIMÁTIO ORIENTAÇÃO LESTE/OESTE



APÊNDICE J – PROJETO MODELO PARA UNIDADE DE INTERESSE SOCIAL: ESTUDO BIOCLIMÁTICO ORIENTAÇÃO NOROESTE/SUDESTE



APÊNDICE K – PROJETO MODELO PARA UNIDADE DE INTERESSE SOCIAL: ESTUDO BIOCLIMÁTICO ORIENTAÇÃO NORDESTE/SUDOESTE



APÊNDICE L – PERSPECTIVAS



PERSPECTIVA 01
Escala: 1:100



PERSPECTIVA 02
Escala: 1:100

PROJETO MODELO PARA UNIDADE
HABITACIONAL DE INTERESSE SOCIAL

PERSPECTIVAS
ESCALA DE PLOTAGEM: 1:100



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DO
MARANHÃO

agosto 7, 2025

ANEXO A – TABELA DE PERCENTUAL DE ABERTURA DE REFERÊNCIA PARA VENTILAÇÃO, NBR 15575

Tabela 9 - Percentual de abertura de referência para ventilação

Percentual de abertura para ventilação ($P_{v,APP}$) %		
ZB ^a 1 a 7	ZB 8 - Região Norte do Brasil	ZB 8 - Regiões Nordeste e Sudeste do Brasil
$P_{v,APP} \geq 7,0\%$ da área de piso	$P_{v,APP} \geq 12,0\%$ da área de piso	$P_{v,APP} \geq 8,0\%$ da área de piso
<p>^a ZB é a zona bioclimática, definida pela ABNT NBR 15220-3.</p> <p>Unidades habitacionais com APP que adotarem valores de percentual de abertura para ventilação inferiores aos limites desta Tabela devem ser avaliadas por meio do procedimento de simulação computacional, conforme a ABNT NBR 15575-1:2021, 11.4.</p> <p>NOTA Exclusivamente na aplicação desta Tabela, os APP relativos a quarto com <i>closet</i> podem considerar como área de piso ($A_{p,APP}$) somente o espaço delimitado pela ocupação do quarto, excluindo-se a área do <i>closet</i>.</p>		

Fonte: ABNT NBR 15575-4:2021

ANEXO B - CÁLCULO DO PERCENTUAL DE ABERTURA PARA VENTILAÇÃO, NBR 15575.

Figura 24- Cálculo do percentual de abertura para ventilação

11.2.6 Método – Cálculo do percentual de abertura para ventilação

O percentual de abertura para ventilação deve ser calculado de acordo com a seguinte equação:

$$P_{v,APP} = 100 \cdot \frac{(A_{v,APP})}{(A_{p,APP})}$$

onde

$P_{v,APP}$ é o percentual de abertura para ventilação do APP, expresso em porcentagem (%);

$A_{v,APP}$ é a área efetiva de abertura para ventilação do APP, expressa em metros quadrados (m²);

$A_{p,APP}$ é a área de piso do APP, expressa em metros quadrados (m²).

Fonte: ABNT NBR 15575-4:2021