

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

LARISSA PRADO DA MATA

Análise térmica de habitações emergenciais em contêineres situados em cidades portuárias
pertencentes a diferentes zonas bioclimáticas

Uberlândia
02/2026

LARISSA PRADO DA MATA

Análise térmica de habitações emergenciais em contêineres em cidades portuárias situadas em diferentes zonas bioclimáticas

Trabalho apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de concentração: Construção Civil

Orientadora: Ana Carolina F. Maciel Ribeiro

Coorientador: Bruno Barzellay Ferreira da Costa

Uberlândia

02/2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

M425a Mata, Larissa Prado da, 1993
2026 Análise térmica de habitações emergenciais em contêineres em
 cidades portuárias situadas em diferentes zonas bioclimáticas [recurso
 eletrônico] / Larissa Prado da Mata. - 2026.

Orientadora: Ana Carolina Fernandes Maciel.
Coorientador: Bruno Barzelay Ferreira da Costa.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil.
Modo de acesso: Internet.
Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2026.10002>
Inclui bibliografia.
Inclui ilustrações.

1. Engenharia civil. I. Maciel, Ana Carolina Fernandes (Orient.). II.
Costa, Bruno Barzelay Ferreira da (Coorient.). III. Universidade Federal
de Uberlândia. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. IV.
Título.

CDU: 624



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Engenharia Civil				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico, 331, PPGEC				
Data:	26 de fevereiro de 2026	Hora de início:	14h00	Hora de encerramento:	15h40
Matrícula do Discente:	12412ECV009				
Nome do Discente:	Larissa Prado da Mata				
Título do Trabalho:	Análise térmica de habitações emergenciais em contêineres situados em cidades portuárias pertencentes a diferentes zonas bioclimáticas				
Área de concentração:	Construção Civil, Estruturas e Geotecnia				
Linha de pesquisa:	Construção Civil				
Projeto de Pesquisa de vinculação:	Integração BIM-BES para análises de sustentabilidade ambiental				

Reuniu-se, em sessão pública por webconferência, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, assim composta pelos Professores Doutores: Heber Martins de Paula - UFCat, André Luis de Araujo - UFU, Ana Carolina Fernandes Maciel Ribeiro, orientadora da candidata e Bruno Barzellay Ferreira da Costa - UFRJ, coorientador da candidata.

Iniciando os trabalhos, o(a) presidente da mesa, Dr(a).Ana Carolina Fernandes Maciel Ribeiro, apresentou a Comissão Examinadora e o candidato(a), agradeceu a presença do público, e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(às) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

Aprovado

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Ana Carolina Fernandes Maciel Ribeiro, Professor(a) do Magistério Superior**, em 26/02/2026, às 15:40, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Heber Martins de Paula, Usuário Externo**, em 26/02/2026, às 15:40, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Andre Luis de Araujo, Professor(a) do Magistério Superior**, em 26/02/2026, às 15:41, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Bruno Barzellay Ferreira da Costa, Usuário Externo**, em 26/02/2026, às 15:48, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **7087336** e o código CRC **CDFE53F7**.

Dedico este trabalho às minhas filhas, fonte constante de amor, força e inspiração. Que cada conquista minha sirva de exemplo para que vocês nunca deixem de sonhar e acreditar no próprio potencial.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, antes de tudo, a Deus, por caminhar comigo em cada etapa deste percurso, concedendo sabedoria e esperança nos momentos de dificuldade. À minha família, deixo meu mais sincero agradecimento pelo amor incondicional, pela paciência e pelo apoio constante. Vocês foram meu alicerce, e minha maior motivação para seguir em frente, mesmo quando o cansaço se fazia presente.

À Professora Doutora Ana Maciel e ao Professor Doutor Bruno Barzellay, minha profunda gratidão pela orientação atenciosa, pela sensibilidade, pela confiança e pelo incentivo contínuo. A condução cuidadosa e humana de vocês foi essencial para o desenvolvimento deste trabalho e para meu crescimento acadêmico e pessoal. Aos colegas mestrandos e amigos, agradeço pela parceria, pela troca generosa de conhecimentos, pelas palavras de incentivo e pelos momentos compartilhados, que tornaram essa caminhada mais leve e significativa.

Por fim, agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida ao longo do curso, possibilitando a dedicação necessária para a realização desta pesquisa.

"A persistência é o caminho do êxito. As grandes decisões são feitas nos pequenos momentos em que escolhemos continuar."

(Napoleon Hill, 1937. *Think and Grow Rich*.)

RESUMO

A crescente necessidade por soluções habitacionais sustentáveis de rápida execução, frente a situações emergenciais provocadas por desastres naturais, conflitos e crises humanitárias, vem crescendo exponencialmente. Aliado a essa demanda, a escolha por contêineres para fins habitacionais se adapta a estas situações devido ao acúmulo dos módulos em desuso nos portos e pelo potencial de reaproveitamento destas estruturas como elementos modulares na construção civil. Apesar do contêiner se encaixar como boa solução construtiva para esta finalidade, apresenta desafios em relação ao superaquecimento no seu interior. A literatura apresenta estudos acerca de elementos isolantes associados à envoltória afim de reduzir os ganhos térmicos, porém os estudos que correlacionam o uso de contêineres como habitação associados a estratégias bioclimáticas de adaptação térmica são escassos. Neste sentido, esta pesquisa objetivou analisar o desempenho térmico de habitações emergenciais em contêineres marítimos em distintas cidades portuárias situadas em diferentes zonas bioclimáticas. As análises foram realizadas por meio de simulações computacionais integrando BIM-BES com os *softwares* Revit e Design Builder. Foram testadas estratégias de ventilação natural, sombreamento e três tipos de cobertura: termoacústica com EPS, reflexiva e telhado verde, e para a envoltória foi considerada a aplicação de isolantes térmicos testados previamente no estudo de Da Costa et al. (2024). Os cenários de simulação foram elaborados a partir da combinação das estratégias bioclimáticas e aplicados nas cidades portuárias de Santos (AF), Los Angeles (CSA) e Shanghai (C). Os resultados indicaram que para Santos a associação das estratégias de sombreamento, ventilação e cobertura verde (MVSV) apresentou redução de até 14,47°C, e aumento de até 9 horas dentro da faixa de temperaturas operativas no verão, em horário crítico. Para Los Angeles a mesma solução (MVSV) se mostrou eficiente neste mesmo cenário com redução de 11,33°C e acréscimo de até 8 horas dentro da faixa de limites. Para Shanghai o uso associado das estratégias de sombreamento e cobertura verde se destacam, reduzindo em até 11,85°C e permanecendo 7 horas a mais dentro dos limites de temperaturas operativas. Observou-se que o uso de estratégias bioclimáticas pode atenuar os problemas de superaquecimento interno deste tipo de habitação, proporcionando melhores condições de uso e reduzindo a necessidade de sistemas mecânicos de resfriamento/aquecimento.

Palavras-chave: desempenho térmico, habitações emergenciais, contêiner marítimo, estratégias bioclimáticas.

ABSTRACT

The growing need for sustainable housing solutions that can be implemented quickly in emergency situations caused by natural disasters, conflicts, and humanitarian crises has been growing exponentially. In line with this demand, the choice of containers for housing purposes is well suited to these situations due to the accumulation of disused modules in ports and the potential for reusing these structures as modular elements in civil construction. Although containers are a good construction solution for this purpose, they present challenges in relation to overheating inside. The literature presents studies on insulating elements associated with the envelope in order to reduce heat gains, but studies that correlate the use of containers as housing with bioclimatic thermal adaptation strategies are scarce. In this sense, this research aimed to analyse the thermal performance of emergency housing in shipping containers in different port cities located in different bioclimatic zones. The analyses were performed using computer simulations integrating BIM-BES with Revit and Design Builder software. Natural ventilation and shading strategies were tested, as well as three types of roofing: thermoacoustic with EPS, reflective, and green roof. For the envelope, the application of thermal insulation previously tested in the study by Da Costa et al. (2024) was considered. The simulation scenarios were developed based on a combination of bioclimatic strategies and applied in the port cities of Santos (AF), Los Angeles (CSA), and Shanghai (CFA). The results indicated that for Santos, the combination of shading, ventilation and green roof strategies (MVSV) showed a reduction of up to 14.47°C and an increase of up to 9 hours within the operating temperature range in summer, at critical times. For Los Angeles, the same solution (MVSV) proved to be efficient in this same scenario, with a reduction of 11.33°C and an increase of up to 8 hours within the limit range. For Shanghai, the combined use of shading and green roof strategies stands out, reducing temperatures by up to 11.85°C and remaining 7 hours longer within the operating temperature limits. It was observed that the use of bioclimatic strategies can mitigate the problems of internal overheating in this type of housing, providing better conditions of use and reducing the need for mechanical cooling/heating systems.

Keywords: thermal performance, emergency housing, shipping container, bioclimatic strategies.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Radiação solar nas edificações.	29
Figura 2 – Fluxograma da metodologia	34
Figura 3 – Módulo do contêiner referência.	35
Figura 4 - Planta Baixa modelagem simplificada do contêiner com identificação dos ambientes.....	36
Figura 5 - Materiais da envoltória.	36
Figura 6- Cenários de simulação.	43
Equação 1 - Cálculo de sombreamento.	43
em que:	43
Figura 7 - Configurações de energia.	46
Figura 8 - Configurações avançadas de energia.	47
Figura 9 -Variáveis de cálculo dos espaços analíticos.	48
Figura 10 - Configuração da tabela de cargas ambiente Sala/Cozinha.	50
Figura 11 - – Modelo de espaços analíticos do Revit.....	50
Figura 12 - Importação das características térmicas.....	51
Figura 13 – Características dos materiais da envoltória por componentes de espaço.....	52
Figura 14 - Dados bioclimáticos para Santos.	52
Figura 15 - Arquivos meteorológicos inseridos no Design Builder.	53
Figura 16 - Template de localidade.	53
Figura 17 - Carregando o arquivo meteorológico.	53
Figura 18 - Parâmetros de construção.	54
Figura 19 - Janela do banheiro modelada no Design Builder.	55
Figura 20 - Percentual de aberturas das esquadrias.....	55
Figura 21 – Ajuste da temperatura mínima no Design Builder.....	56
Figura 22 – Comparativo de resultados obtidos entre os softwares.	58
Figura 23 – Ventilação Módulo 1.....	60
Figura 24 – Ventilação Módulo 2.....	62
Figura 25 – Ventilação Módulo 3.....	63
Figura 26 – Ventilação Módulo 4.....	65
Figura 27 – Ventilação Módulo 5.....	66
Figura 28 - Carta solar de Santos (dezembro a junho).	68
Figura 29 - Carta solar de Santo (junho a dezembro).....	69

Figura 30 - Carta solar de Los Angeles (dezembro a junho).....	73
Figura 31 - Carta solar de Los Angeles (junho a dezembro).....	74
Figura 32 - Carta solar de Shangai (dezembro a junho).	76
Figura 33 - Carta solar de Shangai (junho a dezembro).	77
Figura 34 – Transferência de dados BIM/BES.....	79
Figura 35 - Temperaturas médias mensais de Los Angeles.	82
Figura 36 - Temperaturas médias mensais de Shanghai.	83
Figura 37 – Comportamento térmico do módulo MR para solstício de verão.	85
Figura 38 - Comportamento térmico do módulo C1 para solstício de inverno.	86
Figura 39 - Comportamento térmico do de todos os módulos no solstício de verão em Santos.	87
Figura 40 - Comportamento térmico do de todos os módulos no solstício de inverno em Santos.	88
Figura 41 - Comportamento térmico verão dos módulos: MSV e MVSV.....	89
Figura 42 - Comportamento térmico inverno dos módulos: MSV e MVSV.	90
Figura 43 - Horas/mês no limite de temperatura operativa para os módulos MSV e MVSV.	91
Figura 44 - Comportamento térmico do módulo MR para solstício de verão.....	93
Figura 45 - Comportamento térmico do módulo MR para solstício de inverno.	94
Figura 46 - Comportamento térmico do de todos os módulos no solstício de verão em Los Angeles.....	96
Figura 47 - Comportamento térmico do de todos os módulos no solstício de inverno em Los Angeles.....	97
Figura 48 - Comportamento térmico verão dos módulos: MSV, MSI, MVSR, MVSV e MVSI.....	98
Figura 49 - Comportamento térmico no inverno dos módulos: MSV, MSI, MVSR, MVSV e MVSI.	99
Figura 50 – Horas/mês no limite de temperatura operativa para os módulos MSV, MSI, MVSV e MVSI.....	100
Figura 51 - Comportamento térmico do módulo MR para solstício de verão.....	102
Figura 52 - Comportamento térmico do módulo MR para solstício de inverno.	103
Figura 53 - Comportamento térmico do de todos os módulos no solstício de verão em Shangai.	104

Figura 54 - Comportamento térmico do de todos os módulos no solstício de inverno em Shangai.	105
Figura 55 - Comportamento térmico verão dos módulos: MSV, MSI, MVSV.	106
Figura 56 - Comportamento térmico inverno dos módulos: MSV, MSI, MVSV.	107
Figura 57 - Horas/mês no limite de temperatura operativa para os módulos MSV, MSI, MVSV.	108

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros básicos dos contêineres mais utilizados	20
Tabela 2 - Dados globais sobre contêineres em desuso.	21
Tabela 3 – Comparativo Köppen–Geiger x ASHRAE 90.1	25
Tabela 4 - Propriedades dos materiais da envoltória de acordo com Da Costa et al., (2023)	37
Tabela 5 – Maiores portos de cada continente em movimentação de contêineres.	37
Tabela 6 - Incidência de desastres em cidades portuárias.	38
Tabela 7 - Maiores portos e classificação climática de acordo com Köppen Geiger.	38
Tabela 8 – Estratégias bioclimáticas selecionadas	40
Tabela 9 - Características térmicas dos componentes de cobertura.	42
Tabela 10 - Dados de entrada para o ambiente sala/cozinha.	48
Tabela 11 - Dados de entrada para o ambiente quarto.	49
Tabela 12 - Dados de entrada para o ambiente banheiro.	49
Tabela 13 – Cálculo da profundidade mínima de beiral para Santos.	70
Tabela 14 - Ganhos térmicos quanto ao sombreamento para Santos.	71
Tabela 15 - Cálculo da profundidade mínima de beiral para Los Angeles.	75
Tabela 16 - Cálculo da profundidade mínima de beiral para Shanghai.	78
Tabela 17 – Transferência de dados BIM/BES.	80
Tabela 18 - Limites de temperaturas operativas para Santos (BR).	81
Tabela 19 - Limites de temperaturas operativas para Los Angeles (USA).	82
Tabela 20 – Limites de temperaturas operativas para Shanghai (CHI).	83
Tabela 21 - Cenário de Verão.	110
Tabela 22 – Cenário Inverno.	111

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AF	Clima tropical úmido
AQUA-HQE	<i>Haute Qualité Environnemental</i>
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i>
BES	<i>Building Energy Simulation</i>
BIM	<i>Building Information Modeling</i>
CBSE TM 59	Guia técnico para avaliação de superaquecimento em edificações residenciais
CFA	Clima Subtropical úmido
CFB	Clima Temperado Oceânico
CFD	<i>Computational Fluid Dynamics</i>
CSC	<i>Container Steel Construction</i>
CSA	Clima Mediterrâneo
EPS	<i>Expanded Polystyrene</i>
epw	<i>EnergyPlus Weather File</i>
gbXML	<i>Green Building XML</i>
HVAC	<i>Heating, Ventilation and Air Conditioning</i>
ISO/TC	<i>International Organization for Standardization / Technical Committee</i>
LEED	<i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>
NBR	Norma Brasileira
PCMs	<i>Phase Change Materials</i>
PET	Polietileno Tereftalato
TAS	<i>Thermal Analysis Software</i>
XPS	<i>Extruded Polystyrene</i>

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	14
2.	OBJETIVOS	18
2.1	Objetivo Geral.....	18
2.2	Objetivos Específicos	18
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
3.1	Construção Modular	19
3.2	Contêineres Marítimos.....	19
3.3	Contêineres marítimos em desuso	20
3.4	Contêineres marítimos para habitações emergenciais	22
3.5	Índices de desastres naturais em cidades portuárias.....	23
3.6	Classificações Bioclimáticas	23
3.7	Estratégias Bioclimáticas	25
3.8	Desempenho Térmico	27
3.9	Simulações computacionais e integração BIM/BES	31
4.	METODOLOGIA.....	34
4.1	Ventilação Natural.....	40
4.2	Estratégias de cobertura e sombreamento	42
4.3	Cenários de simulação	43
4.4	Preparação do modelo analítico	45
4.5	Configurações de simulações BES.....	51
4.6	Parâmetros de desempenho térmico	56
5.	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	58
5.1	Análises da ventilação natural.....	58
5.1.1	<i>Módulo 1 – Módulo Referencial sem qualquer alteração.</i>	<i>59</i>
5.1.2	<i>Módulo 2 – Aumento do número de aberturas.....</i>	<i>60</i>
5.1.3	<i>Módulo 3 – Módulo 2 com janelas altas na fachada posterior.....</i>	<i>62</i>
5.1.4	<i>Módulo 4 – Módulo 2 com alteração do peitoril das janelas frontais.</i>	<i>64</i>
5.1.5	<i>Módulo 5 – Módulo 2 com todas as janelas altas.....</i>	<i>65</i>
5.1.6	<i>Análise geral da ventilação.....</i>	<i>66</i>
5.2	Sombreamento	67
5.2.1	<i>Santos</i>	<i>67</i>

5.2.2	<i>Los Angeles</i>	72
5.2.3	<i>Shangai</i>	76
5.3	Transferência de dados BIM/BES.....	79
5.4	Parâmetros de análise de desempenho térmico	81
5.5	Análise de desempenho térmico	84
5.5.1	<i>Santos</i>	84
5.5.2	<i>Los Angeles</i>	93
5.5.3	<i>Shangai</i>	102
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	111

1. INTRODUÇÃO

O setor da construção civil desempenha papel crucial no desenvolvimento econômico dos países, tendo como finalidade o atendimento a necessidades habitacionais e de infraestrutura. No entanto, o método de construção tradicional apresenta uma série de desafios, como desperdícios de materiais, atrasos e retrabalhos, ineficiência em processos, aumento de custos, comprometimento da qualidade, preocupações com sustentabilidade, entre outros (PERVEZ *et al.*, 2022), desafios estes que afetam diretamente o acesso à habitação. Um dos principais entraves à oferta de moradias acessíveis é o alto custo dos materiais de construção somado ao elevado custo de aquisição de terrenos, dificultando o acesso à habitação, especialmente em áreas urbanas (OLOTO; ADEBAYO, 2012). Diante deste cenário, é crescente a busca por métodos construtivos alternativos, mais sustentáveis, acessíveis e de rápida implantação. As casas contêineres tem se popularizado por diversos motivos, como a rapidez na construção, o potencial de reutilização de materiais e adequação à estratégias ecologicamente corretas (FIGAJ; LAUDIERO; MAURO, 2024). Segundo Suo *et al.* (2023), diversos edifícios de instalações públicas e habitações temporárias, foram construídas na China em ritmo acelerado com base em unidades modulares de contêineres.

As unidades de contêineres apresentam flexibilidade para expansão ou redução, conforme necessidades específicas, enquanto a possibilidade de empilhamento permite a criação de edificações maiores e mais complexas. O tempo de construção é reduzido em comparação aos métodos convencionais, uma vez que a estrutura principal é modular, exigindo apenas ajustes e montagem no local de implantação (FIGAJ; LAUDIERO; MAURO, 2024). Este tipo de solução torna-se ainda mais relevante em contextos de maior incidência de desastres naturais, conflitos e crises migratórias, que aumentam a demanda por habitações de caráter emergencial (DE MASI *et al.*, 2023). As habitações emergenciais visam abrigar pessoas em situações de vulnerabilidade provocadas por eventos críticos, sendo desenvolvidas para oferecer resposta rápida e eficaz. Neste contexto, as habitações modulares construídas a partir de contêineres se destacam como solução contemporânea e em expansão, especialmente em regiões costeiras (HAQUE; AMAN; MOHAMMAD, 2022).

Regiões costeiras estão entre as mais suscetíveis aos impactos de desastres naturais, como inundações, tempestades tropicais, elevação do nível do mar e ciclones, fenômenos que devido as mudanças climáticas têm se tornado mais frequentes. Eventos como esses resultam na destruição de moradias permanentes, deixando inúmeras pessoas em situação de vulnerabilidade

social. Diante destes danos, torna-se urgente o desenvolvimento de soluções habitacionais emergenciais capazes de oferecer abrigo seguro e rápido para a população afetada. As regiões costeiras além de serem zonas sujeitas a eventos climáticos extremos, também abrigam os principais portos responsáveis pelo fluxo de comércio marítimo. Como consequência da logística, essas áreas acumulam grandes quantidades de módulos de contêineres em desuso. A crescente necessidade por habitações emergenciais em conjunto a disponibilidade desses módulos reforça o potencial de seu reaproveitamento como solução habitacional, especialmente em cenários onde os recursos e o tempo são limitados.

O acúmulo de contêineres vazios em todo o mundo é resultado da natureza linear do sistema de negociação marítimo e, caso sejam introduzidos na economia circular, podem ser considerados resíduos a serem utilizados como componentes de construção, evitando o uso de aço de outros processos, ou ainda, substituindo a extração de alguns materiais virgens a serem utilizados nas etapas de construção, contribuindo para a redução do impacto ambiental gerado pela edificação (BERTOLINI; GUARDIGLI, 2020). Embora o ciclo de vida comercial de um contêiner no transporte marítimo seja cerca de oito anos, sua estrutura pode apresentar durabilidade de até um século (PEDROSA et al., 2024). Essa amplitude entre ciclo de vida e duração contribui para o acúmulo de contêineres em desuso. O alto custo para retornar com o contêiner vazio ao local de origem torna mais viável a fabricação de novas unidades, o que contribui para seu acúmulo nos portos (ELRAYES, 2017). Além de exigirem grande espaço, o armazenamento e reposicionamento desses módulos são complexos. Para que estes sejam reaproveitados em regiões interiores o transporte dos portos ao local de uso deve ser feito por meio de vias terrestres, o que é desafiador no caso de módulos de grandes dimensões.

A disponibilidade de contêineres vazios nos portos destaca-se na literatura como problema logístico e, simultaneamente, como oportunidade para seu reaproveitamento. Estudos mostram que os desequilíbrios globais no fluxo de comércio pós-pandêmico resultaram em acúmulos significativos de contêineres ociosos em terminais portuários (EUROPEAN COMMISSION, 2023). Pesquisas sobre reposicionamento de contêineres evidenciam que estes desequilíbrios produzem excedentes de unidades vazias, exigindo estratégias complexas de realocação, o que confirma o acúmulo desses em áreas portuárias (XIANG et al., 2024; SADAGHI, 2024). Embora existam lacunas na quantificação precisa das unidades permanentemente desativadas, a literatura aponta que o intenso fluxo de contêineres global e os frequentes desequilíbrios logísticos sustentam a existência de um estoque recorrente de

contêineres subutilizados em regiões costeiras. Análises energéticas e ambientais apontam que o acúmulo em pátios portuários representa tanto um passivo operacional, quanto um potencial recurso construtivo, como habitações emergenciais (FARINÃ, 2024).

Embora as casas que utilizam contêineres como estrutura tenham sido uma solução de resposta rápida à demanda por habitações emergenciais, do ponto de vista de desempenho termo energético, este tipo de habitação requer atenção, pois o contêiner é constituído por um invólucro metálico de alta condutividade térmica, tornando o uso de materiais de isolamento uma etapa crucial para que essas estruturas obtenham bons resultados para os usuários (MUSTAPHA *et al.*, 2023). Pesquisas experimentais e simulações indicam que isolantes como poliuretano, lã mineral e *Expanded Polystyrene* e *Extruded Polystyrene* (EPS/XPS), são capazes de reduzir significativamente os fluxos térmicos, enquanto detalhamentos construtivos a fim de eliminar pontes térmicas contribuem para minimizar sobreaquecimento e perdas energéticas (FARIÑA, 2024; LIANG *et al.*, 2024). Outras investigações exploram o uso de materiais em mudança de fase (Phase Change Materials - PCMs), comprovando melhorias na estabilidade térmica e redução das amplitudes de temperaturas ao longo do dia, especialmente em climas quentes, onde esses materiais retardam o pico térmico sem acréscimo de energia operacional (CABEZA *et al.*, 2024; CUI; ZHANG, 2024). Revisões sistemáticas destacam que a seleção do isolante deve considerar a zona bioclimática, o comportamento hidrotérmico e a durabilidade à corrosão, que são aspectos essenciais para edificações emergenciais que dependem de montagem rápida e desempenho estável ao longo do tempo (ALI; KHAN, 2024). Assim, a literatura demonstra que a combinação entre isolantes e estratégias de mitigação de ganhos térmicos e tecnologias térmicas, como os PCMs, constituem em caminho promissor para elevar o desempenho térmico de unidades habitacionais em contêineres.

Além disso, algumas medidas baseadas nas características climáticas também podem ser adotadas, dentre elas destacam-se o uso de estratégias bioclimáticas, que atuam de forma a mitigar os efeitos do clima sobre as edificações. O uso da ventilação natural em conjunto aos materiais de isolamento na envoltória representa uma maneira eficaz de reduzir o uso de sistemas de refrigeração e, conseqüentemente, o uso de energia em casas contêineres, sendo capaz de manter a temperatura relativa interna equilibrada, provocando a dissipação do calor entre espaços internos e externos, podendo reduzir em até 60% o consumo de energia no verão (LIN; CHENG, 2020). De acordo com Shi (2021), as janelas também possuem grande impacto no consumo de energia em casas contêineres pois, quando se alteram as alturas e orientações das janelas, o

consumo de energia também é modificado. O aproveitamento dos contêineres em cidades portuárias, evidenciado por sua viabilidade construtiva, disponibilidade e impacto ambiental positivo, pode ser otimizado com a associação de estratégias bioclimáticas adaptadas às zonas climáticas específicas. Dessa forma, conhecer as características térmicas do ambiente onde a habitação será implantada é fundamental para propor soluções eficazes. Diversas classificações climáticas podem auxiliar na compreensão das condições climáticas na qual esse tipo de habitação será implantado. De acordo com Andrade *et al.* (2005), tais classificações são capazes de identificar regiões com condições biogeográficas e climáticas similares. A classificação climática de Köppen-Geiger, por exemplo, segrega as regiões com base no desenvolvimento da vegetação e nos extremos de temperaturas dos meses quente/frio, constituindo-se como uma ferramenta internacionalmente reconhecida para análise do desempenho térmico de edificações (NÓBREGA, 2010).

Ainda que o uso de contêineres para fins habitacionais esteja em crescimento, trata-se de uma prática recente, o que justifica a escassez de pesquisas sobre a temática. Esta pesquisa visa contribuir para o avanço do conhecimento sobre o uso de contêineres como alternativa para habitações emergenciais, sobretudo em cidades portuárias situadas em diferentes zonas bioclimáticas. Assim, busca-se avaliar o desempenho térmico dessas habitações em cenários distintos, com combinações de materiais de parede previamente analisados, incorporado a estratégias bioclimáticas e diferentes soluções de cobertura, para posteriormente identificar a solução mais eficiente para cada zona. Assim, a pesquisa se justifica não apenas pela inovação no tema proposto, mas também por sua relevância social e ambiental, reforçando a necessidade de soluções construtivas mais sustentáveis e acessíveis no contexto da construção civil atual.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar o comportamento térmico de um módulo de habitação emergencial em contêiner desenvolvido no estudo de Da Costa *et. al.* (2023), considerando a aplicação de estratégias bioclimáticas selecionadas para três localidades portuárias situadas em distintas zonas bioclimáticas ao redor do mundo.

2.2 Objetivos Específicos

Este trabalho tem como objetivos específicos:

- Identificar, a partir da literatura, quais as estratégias bioclimáticas mais adequadas para as localidades de estudo;
- Investigar a estratégia de ventilação natural aplicada ao módulo de contêiner para o melhor posicionamento de aberturas para condução do estudo;
- Analisar a influência de um material de alta inércia térmica no involucro do módulo, observando seus efeitos sobre o comportamento térmico nas distintas localidades determinadas para o estudo;
- Analisar o efeito das estratégias bioclimáticas aplicadas em diferentes composições no módulo de contêiner para as diferentes localidades;
- Determinar as melhores combinações de estratégias bioclimáticas com o material de alta inércia térmica no involucro para cada localidade de estudo.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta revisão bibliográfica busca apresentar conceitos importantes, para esclarecer os principais eixos temáticos da pesquisa, a fim de tornar a leitura compreensível e clara.

3.1 Construção Modular

As edificações modulares possuem vários ambientes compostos por módulos tridimensionais, construídos e pré-montados nos centros de fabricação modular, entregues no local da construção e instalados em uma fundação permanente (KAMALI; HEWAGE; SADIQ, 2019). A construção modular vem ganhando popularidade como uma abordagem moderna e viável que reduz drasticamente o período de construção de uma unidade habitacional, demonstrando-se eficiente devido a automação dos processos, menos interrupções climáticas e retorno acelerado do investimento (SHAHZAD; RAJAKANNU; KORDESTANI GHALENOEI, 2022).

Com os métodos de construção pré-fabricados é possível alcançar bons resultados em relação aos métodos construtivos tradicionais, tais como, redução na geração de resíduos, redução do tempo de execução, otimização do transporte, e redução na emissão de gases de efeito estufa, (JIN *et al.*, 2020). Embora sejam claros os benefícios da construção modular comparativamente a construção tradicional, este método é um processo complexo e está associado a múltiplos riscos e incertezas (PERVEZ *et al.*, 2022). O estudo de Kamali, Hewage e Sadiq (2019) fez uma comparação utilizando o método de avaliação do ciclo de vida (ACV) entre o método de construção convencional e o modular, e revelou que nenhum dos dois métodos é atende 100% o desempenho ambiental satisfatório, no entanto, estratégias de projetos, transporte e aumento de produção podem reduzir o consumo de energia e materiais e, conseqüentemente, os impactos ambientais.

3.2 Contêineres Marítimos

Os contêineres são definidos como unidades de produção e transporte, podendo ser movimentados por importação, exportação ou reposicionamento. A logística dos contêineres envolve todo seu ciclo de vida útil marítima até a volta a sua origem (BERTOLINI; GUARDIGLI, 2020). Rodrigue (2020) relata que o retorno desses contêineres a sua origem é um processo oneroso, e os contêiners em desuso se acumulam nos portos de origem,

contabilizando milhões de unidades armazenadas vazias, sendo viável destinar essas unidades para outra finalidade em locais portuários.

Atualmente a *International Organization for Standardization* (ISO) e a *Container Steel Construction* (CSC) são responsáveis pela padronização dos contêineres desenvolvidos. De acordo com esses documentos são determinadas as especificações, resistência estrutural, aplicações e critérios de manutenção em contêineres, incluindo os limites estruturais (SHEN *et al.*, 2020). Apesar de existirem padronizações para o tamanho contêineres, na construção civil, estes podem ser utilizados conforme critério dos projetistas. A ISO estabelece um padrão internacional nomeado ISO/TC 104, que estabelece uma classificação de contêineres de carga conforme suas dimensões externas e especifica as classificações associadas quanto as dimensões mínimas internas, podendo ser divididos em unidades de 40 e 20 pés de acordo com o tamanho (ISO/TC104), apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros básicos dos contêineres mais utilizados

Unidade	Largura (m)	Comprimento (m)	Altura (m)	Área Útil (m²)	Volume (m³)
20 pés	2.438	6.096	2.9	14.86	43.09
40 pés	2.438	12.192	2.9	29.72	86.19

Fonte: Dados (SHEN *et al.*, 2020).

Quanto à estrutura, os contêineres são constituídos principalmente por aço, tanto as paredes quanto o teto consistem em chapas de metal corrugado de 2 mm de espessura, apenas o piso é constituído de madeira compensada. Dentre os padrões mais utilizados na construção civil destacam-se os de 40 e 20 pés de cubo alto (*High Cube*), devido aos requisitos mínimos de alturas de teto (SHEN *et al.*, 2020). A utilização de contêineres de dimensões fixas permite uma abordagem de construção uniforme, tornando viável a construção modular (TAN; LING, 2018).

3.3 Contêineres marítimos em desuso

O acúmulo de contêineres em portos ocorre a partir da desproporção entre os fluxos de importação e exportação, fenômeno intensificado após as variações logísticas globais da pandemia, que ampliaram os excedentes de unidades vazias em acúmulo. (UNCTAD, 2023; NOTTEBOOM; PALLIS, 2021). Esse excesso intensificado pela produção adicional de

contêineres em 2020 e 2022, diante da demanda emergente, ampliou o estoque ocioso quando os fluxos comerciais se estabilizaram (UNCTAD, 2023). Além disso, o aumento do tempo de permanência das unidades nos terminais está diretamente associado ao gargalo operacional, limitações de infraestrutura e sobrecarga da cadeia logística, reforçando a permanência dos contêineres nos pátios portuários (RODRIGUE, 2020). No campo operacional, o acúmulo também é explicado pela complexidade e ineficiência no processo de reposicionamento dos contêineres vazios, que apresenta custos elevados, limitando o deslocamento das unidades para regiões com maior demanda (NUMA-NAVARRO *et al.*, 2023; SONG; DONG, 2015). Estudos apontam que em portos de grande escala, especialmente na Ásia Oriental, Estados Unidos e Europa, o descompasso entre fluxos comerciais aumenta substancialmente o volume de contêineres vazios armazenados por longos períodos (UNCTAD, 2023; NOTTEBOOM *et al.*, 2021), conforme pode ser verificado na Tabela 2.

Tabela 2 - Dados globais sobre contêineres em desuso.

Porto / Região	Indicador	Referências
Shangai (China)	Excedentes significativos de contêineres vazios após redução das exportações; indicadores de disponibilidade acima do equilíbrio logístico.	UNCTAD (2023)
Los Angeles (EUA)	Índices indicando excesso de contêineres vazios em pátios; acúmulo decorrente da queda das importações.	CONTAINER XCHANGE (2023); NOTTEBOOM; PALLIS (2021)
Rotterdam (Europa)	Concentração significativa de contêineres vazios associada a desequilíbrios entre fluxos europeus e intercontinentais.	NOTTEBOOM; HARALAMBIDES (2020);
Santos (Brasil)	Relatos de acúmulo de contêineres vazios em pátios retroportuários e terminais devido ao desequilíbrio entre importação/exportação e limitações de capacidade no complexo portuário;	SANTOS PORT AUTHORITY, (2022); ANTAQ (2023)

O reuso desses contêineres apresenta vantagens ambientais, econômicas e sociais, evidenciados em estudos recentes de avaliação de ciclo de vida, como uma estratégia capaz de

reduzir as emissões de gases de efeito estufa, por evitar a produção de aço novo (BERTOLINI; GUARDIGLI, 2020; AYAWARDANA *et al.*, 2023). Além disso, o emprego de contêineres como módulos construtivos pode reduzir a produção de resíduos, reduzir o tempo de execução e proporcionar melhor controle de qualidade, quando comparado a métodos tradicionais (JIN *et al.*, 2020). Dessa forma, o reaproveitamento dessas unidades contribui para a aplicação efetiva de princípios de economia circular e para a mitigação dos impactos negativos associados ao acúmulo de contêineres nos portos (AYAWARDANA *et al.*, 2023; UNCTAD, 2023).

3.4 Contêineres marítimos para habitações emergenciais

Moradias temporárias ou habitações emergenciais são importantes para a reconstrução da ordem social, sendo utilizadas para o reassentamento de moradores após desastres (YU; BAI, 2018). As moradias temporárias surgem da necessidade de abrigar vítimas de desastres de vários tipos, tais como: desastres climáticos, biológicos, acidentes químicos, incêndios e acidentes diversos, os quais causam colapsos de moradias. A arquitetura modular pode ser facilmente implementada como moradia temporária em áreas afetadas por desastres. Neste contexto, a aplicação dos contêineres como edificações permite o fornecimento de abrigo temporário para vítimas e refugiados (HONG, 2017).

As habitações modulares baseadas em contêineres estão ganhando aceitação especialmente em regiões costeiras, apresentando grande potencial para construção sustentável devido a sua qualidade e simplicidade (HAQUE; AMAN; MOHAMMAD, 2022). A modularidade da arquitetura junto ao custo e as quantidades acessíveis, estão impulsionando a popularidade das habitações em contêineres (SHEN *et al.*, 2020). As casas contêineres oferecem uma alternativa econômica às construções tradicionais, por fornecer moradias rápidas, acessíveis e ecologicamente corretas. Sua modularidade permite flexibilidade no *design* e *layout*, e sua boa resiliência estrutural as tornam uma escolha adequada para utilização como espaços habitáveis e funcionais (FIGAJ; LAUDIERO; MAURO, 2024). Além disso, possuem boa condição de resistência sísmica e deformação, conferindo boa integridade, podem ser desmontadas e montadas convenientemente, apresentam bom desempenho em vedação e podem ser instaladas diretamente no terreno com condições de drenagem ideais (YU; BAI, 2018). Além disto, em comparação com as formas tradicionais, as casas contêineres mantêm não apenas os custos mais baixos, mas também aproveitam materiais recicláveis abundantes (SUO *et al.*, 2023).

3.5 Índices de desastres naturais em cidades portuárias

O aumento da frequência e intensidade de eventos hidrometeorológicos (enchentes costeiras, tempestades e marés de tempestade) nas cidades portuárias está fortemente associado às mudanças climáticas observadas nas últimas décadas, sobretudo ao aquecimento global e à elevação do nível médio do mar, que aumentam o risco de inundação costeira e de tempestades marítimas (DODMAN *et al.*, 2022). A vulnerabilidade de áreas portuárias também é resultado de fatores locais, como o esgotamento dos sistemas naturais de proteção costeira (restauração/remoção de mangues e zonas úmidas), ocupação densificada em planícies intermareais, carregamento urbano, que juntos ampliam a vulnerabilidade a eventos extremos e agravam impactos de inundações (BENNETT *et al.*, 2023). Além disso, riscos de terremotos e tsunamis desempenham papel crítico em determinadas regiões (ex.: Japão, Caribe e partes do sudeste asiático), em que a combinação entre exposição populacional elevada e infraestrutura portuária concentrada aumenta a possibilidade de danos e dificulta respostas logísticas imediatas (SUPPASRI *et al.*, 2022; UCLouvain/CRED, 2025).

Diante da ocorrência destes desastres, a primeira linha de ação adotada internacionalmente tem sido a providência rápida de habitações emergenciais que visam assegurar abrigo imediato às famílias afetadas enquanto se planeja a reconstrução permanente (UN-HABITAT, 2019). Há uma tendência crescente de empregar soluções pré-fabricadas, modulares e de construção *off-site*, incluindo contêineres convertidos e módulos pré-fabricados, pela sua rapidez de implementação, repetibilidade e potencial de reaproveitamento, sendo estas alternativas frequentemente recomendadas em estudos recentes de arquitetura pós-desastre e economia circular aplicada ao abrigo emergencial (AYAWARDANA *et al.*, 2023; CALLE MULLER, 2024).

3.6 Classificações Bioclimáticas

O clima influencia diretamente a maioria das atividades humanas e pode ser entendido como o conjunto de condições atmosféricas de uma dada região (ROLIM *et al.*, 2007). As classificações climáticas surgem a partir da necessidade de sintetizar e agrupar os dados climáticos por similaridade em tipos e assim mapear as regiões climáticas (AYOADE, 2003). Elas podem identificar uma grande região ou área, com características biogeográficas e climáticas homogêneas, fornecendo dados valiosos sobre as condições ecológicas do meio ambiente (ANDRADE *et al.*, 2005). A classificação de Köppen se baseia em cinturões climáticos

definidos pelas temperaturas dos meses mais quentes e mais frios, fazendo uso da vegetação e seu desenvolvimento de acordo com cada clima, utilizando fórmulas com o fator de temperatura. A classificação de Thornthwait define os climas de acordo com a eficiência térmica dos cinturões climáticos, utilizando os dados de evapotranspiração com base na precipitação e nas temperaturas médias mensais, estabelecendo limites geográficos por meio da vegetação. A classificação de Strahler identifica as zonas climáticas por meio das variações climáticas e das zonas de ar. Por fim, a classificação de Miller define apenas os limites de grandes zonas climáticas por meio da presença, ausência ou duração da estação fria (NÓBREGA, 2010 apud Brooks, 1948 p. 77, 97-101). A classificação proposta pela norma ASHRAE 90.1 tem sido amplamente utilizada como base para estudos voltados para eficiência energética. Essa norma estabelece oito zonas climáticas, subdivididas segundo critérios de severidade térmica e umidade, permitindo uma segmentação precisa do clima em relação ao comportamento térmico das edificações (ASHRAE, 2022).

A abordagem da ASHRAE permite uma análise mais direcionada ao setor da construção civil, oferecendo suporte técnico e normativo aliado as exigências de certificações (MARTHUR; GARG, 2023). Apesar da ampla utilização da classificação climática proposta pela ASHRAE 90.1 em estudos de desempenho térmico, a classificação de Köppen-Geiger continua sendo bastante utilizada no meio científico devido a sua simplicidade e capacidade de caracterizar zonas climáticas com base em dados de temperatura e precipitação (PEEL; FINLAYSON; MCMAHON, 2007). Maciel (2018) salienta que a Classificação Climática de Köppen-Geiger é uma das mais completas, pois identifica as regiões a partir da junção das características de vegetação, temperatura do ar e precipitação. Essa classificação vem sendo amplamente utilizada em estudos comparativos entre regiões, especialmente na avaliação de mudanças climáticas e na decisão de estratégias bioclimáticas (RUBEL; KOTTEK, 2011). Comparada a abordagem técnico-construtiva da ASHRAE 90.1, a classificação de Köppen-Geiger abrange maior cobertura territorial e possui grande disponibilidade de dados georreferenciados, o que a torna útil para análises em larga escala, sobretudo em países que não dispõem de zoneamentos climáticos nacionais detalhados (KRÜGER; TAMURA, 2018). Estudos sobre habitações, desempenho térmico e ambiente construído frequentemente utilizam Köppen como referência, pois permite comparação entre zonas bioclimáticas do mundo inteiro, característica limitada na abordagem ASHRAE, que foi criada para fins normativos dos EUA e posteriormente expandida

para uso internacional (ASHRAE, 2022). A comparação entre as classificações Köppen-Geiger e ASHRAE 90.1 pode ser visualizada na Tabela 3.

Tabela 3 – Comparativo Köppen–Geiger x ASHRAE 90.1

Critério	Köppen–Geiger	ASHRAE 90.1
Finalidade	Representação ecológica e climática global.	Padronização energética para edificações.
Base científica	Histórico de temperatura e precipitação.	Graus-dia, severidade climática.
Aplicação	Estudos bioclimáticos, ambientais, térmicos.	HVAC e eficiência energética.
Abrangência	Mundial, comparável cientificamente.	Foco normativo norte-americano.
Adequação ao estudo térmico	Alta (ecológica, descritiva).	Média/baixa (focada em energia).

Autores afirmam que Köppen ainda é a classificação mais replicável e menos dependente de dados normativos locais, tornando-se mais adequada quando o foco é modelagem climática, desempenho passivo e análises urbanas (BECK *et al.*, 2020; RUBEL; KOTTEK, 2011). Atualizações do modelo, como as propostas por Beck *et al.* (2020) e Rubel *et al.* (2017), reforçam sua capacidade de representar, com alta resolução, os padrões térmicos que condicionam o comportamento ambiental das edificações. Com base nessas características, a literatura de projeto bioclimático passa a determinar recomendações específicas para cada tipologia climática, evidenciando a necessidade de ajustar o *design* arquitetônico às condições de temperatura, umidade e radiação solar. Estudos como os de Attia (2021) e Harkouss *et al.* (2018), demonstram que o desempenho térmico eficiente depende da adoção de estratégias coerentes com o contexto climático.

3.7 Estratégias Bioclimáticas

Conforme a Agência Nacional de Energia (2023), as edificações são responsáveis por aproximadamente 34% do consumo de energia global, sendo que a maior parte dessa energia é destinada a aquecimento, iluminação, resfriamento e ar-condicionado. As estratégias

bioclimáticas são técnicas construtivas ativas ou passivas implementadas em um sistema arquitetônico que contribuem para a redução do consumo de energia de uma edificação (MANZANO-AGUGLIARO *et al.*, 2015). O *design* bioclimático trabalha técnicas de projeto arquitetônico, como a utilização de recursos ambientais, com a finalidade de oferecer conforto térmico humano interno e externo (DAEMEI; EGHBALI; KHOTBEHSARA, 2019). Dentre as abordagens sustentáveis, o *design* bioclimático se encontra entre as mais promissoras. No entanto, para contribuir efetivamente com a redução do consumo de energia e em conceitos de carbono zero na construção, essas precisam estar alinhadas tanto ao projeto quanto às condições climáticas locais (ELAOUZY; EL FADAR, 2022). Contudo, o aumento da temperatura do ar devido as mudanças climáticas e as ilhas de calor intensificam a demanda de energia das cidades, pioram as condições de conforto térmico e ampliam os problemas de poluição, especialmente em regiões de climas quentes (FILIPIM *et al.*, 2017).

A ventilação natural utilizada para resfriamento noturno tem efeitos benéficos comprovados (FILIPIM *et al.*, 2017). Wang *et al.*, (2017), por meio de um estudo simulado de análise energética, buscou investigar os impactos das mudanças climáticas no consumo de energia de edificações em cinco cidades dos Estados Unidos, e concluiu que a ventilação de modo misto apresentou resultado benéfico para neutralizar os efeitos das mudanças climáticas. Huang *et al.* (2016) avaliou estratégias passivas tradicionais, como os componentes das paredes, dispositivos de proteção solar (persianas fixas e móveis, cortinas), forma e orientação das edificações, ventilação natural em regiões frias e áridas do Tibete, e concluiu que as soluções passivas são eficazes na melhoria dos ambientes internos nas condições de inverno, porém, apresentaram-se ineficientes para as temperaturas entre 16,4 °C e 24 °C.

Dispositivos adequados de sombreamento para controlar a luz solar, podendo fazer parte do edifício ou ser instalado separadamente na fachada, pode reduzir o ganho de calor interno, bloqueando a direção da radiação solar (Lim *et al.*, 2013). Koç e Kalfa (2021) avaliaram o uso de dispositivos de sombreamento fixos para a análise de eficiência energética e relataram que o uso de sombreamentos fixos nas janelas proporciona maior conforto térmico, principalmente por controlarem a incidência solar e, conseqüentemente, atuam na melhoria do desempenho energético das edificações. Elaouzy e El Fadar (2022) analisaram o impacto energético de diversas estratégias bioclimáticas, como telhados e paredes verdes, sombreamento e ventilação natural, sistemas de envidraçamento, persianas, e orientação solar em uma residência associada a diversos climas. Os resultados revelados por essa pesquisa mostram que em termos de

eficiência energética e redução de gases de efeito estufa, o telhado verde apresenta os melhores resultados. Além disso para climas áridos e temperados o sombreamento natural e o uso de persianas se mostraram eficientes, assim como o uso da ventilação natural para climas temperados.

Oviya, Shobana e Amraotkar (2023) avaliaram o desempenho térmico de contêineres em regiões de clima quente e úmido. A análise mostrou que o uso de materiais isolantes na cobertura, como a espuma de poliuretano de célula aberta, mostrou-se altamente eficaz devido ao menor valor de transmitância térmica deste material, indicando capacidade de retardar a transferência de calor. Camilotti (2023) verificou que edificações em contêiner com revestimento termoacústico apresentam desempenho térmico superior em relação as que não possuem. Viana, Souza e Gomes (2019) constataram que a aplicação de telhas sanduíche com núcleo isolante, associadas a elementos de ático ventilado, contribuem na redução de transferência de calor gerada pela cobertura. Torrez-Quezada *et al.* (2024) analisaram o impacto da refletividade em telhados metálicos e de concreto em regiões de clima quente, e verificaram que a emissividade e a refletância podem oferecer temperaturas médias diárias mais baixas do que telhados convencionais. Mansani (2023) aponta que telhas metálicas com núcleo de EPS ou poliuretano, combinadas com mantas reflexivas apresentam excelente desempenho térmico. Synnefa *et al.* (2014), revelou que materiais reflexivos podem reduzir o ganho de calor diário no telhado em até 60%, sugerindo que esta estratégia pode ser eficaz para melhorar o desempenho térmico de casas contêiner. Luan e Zhang (2016) exploraram os efeitos microclimáticos de jardins de coberturas em contêineres, observando que estas coberturas podem reduzir a temperatura interna e aumentar a umidade do ar do ambiente. Recentemente, Moura *et al.* (2024) analisou o impacto da espessura do substrato em telhados verdes instalados em casas contêineres, os resultados apontaram que esta estratégia proporcionou uma redução significativa na amplitude térmica interna do ambiente.

3.8 Desempenho Térmico

As normativas de desempenho têm como objetivo apontar, por meio de critérios que partem do contexto climático onde a edificação está inserida, parâmetros de atendimento em relação à temperatura operativa ou à carga térmica total dos ambientes internos, a fim de mantê-los nas condições desejadas. Estas avaliações podem ser aplicadas em ambientes ventilados artificialmente ou naturalmente (VAZ, 2023). O desempenho térmico está relacionado ao comportamento da edificação em relação ao clima externo, sendo determinado pelas

características dos materiais componentes da envoltória e pelos ganhos de calor por eles proporcionados (ABNT NBR 1575-1, 2021). Conforme a definição da ABNT 15220, o desempenho térmico de contêineres para fins residenciais está diretamente relacionado a capacidade dessas estruturas de manter condições internas ideais para o uso com o mínimo consumo de energia. Além desta, as normativas internacionais auxiliam a análise de desempenho térmico, dentre elas a ISO 17772-1 (2017), que trata sobre a eficiência energética e a qualidade dos ambientes internos, a ASHRAE 90.1 (2022), sobre a eficiência energética em edificações e a ASHRAE 55 (2020), que apresenta as condições ambientais térmicas para ambientes ocupados.

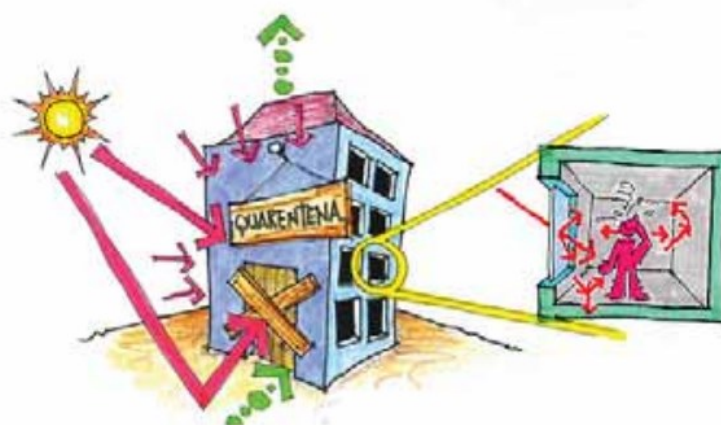
Estudos recentes têm explorado soluções para melhorar o desempenho de casas contêineres, como por exemplo a utilização de sistemas de sombreamento híbridos, que combinam elementos verticais fixos com elementos horizontais, variando os formatos e dimensões (IBRAHIM *et al.*, 2024). Os estudos das estratégias de sombreamento demonstram melhorias no desempenho e consumo de energia para este tipo de edificação. Além disso, em regiões de clima frio e com predominância da demanda de aquecimento, materiais isolantes como lã de rocha e poliestireno extrudado, bem como sistemas com painéis de isolamento a vácuo, demonstraram eficácia na redução da demanda energética e das perdas de calor pelas envoltórias (SABER *et al.*, 2015). Estas soluções, quando integradas de maneira estratégica, contribuem para a melhoria do desempenho térmico das casas contêineres, alinhando-se às diretrizes estabelecidas pelas normas.

A avaliação do desempenho térmico em casas contêineres envolve diversos parâmetros críticos que influenciam diretamente no comportamento térmico e na eficiência energética dessas habitações. Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014), um dos principais fatores que ocasionam ganhos térmicos na envoltória das edificações são constituídos por radiação solar direta, principalmente pela cobertura, radiação solar difusa e radiação solar refletida pelo solo e entorno. Além disso, os ganhos internos também influenciam nas respostas térmicas, dentre eles o calor gerado por ocupação, iluminação e equipamentos (LAPINSKIENĖ *et al.*, 2017). Parâmetros como a radiação solar, condutividade térmica, transmitância térmica e resistência térmica são fundamentais para determinação da eficácia dos materiais componentes da envoltória, sendo desejável baixa transmitância térmica entre os ambientes externo/ interno, a fim de evitar que as grandes amplitudes externas penetrem no ambiente interno (DA COSTA *et al.*, 2023).

A radiação solar é a principal fonte de energia térmica que incide sobre as edificações, e possui papel crucial no desempenho térmico de construções, afetando principalmente elementos

expostos diretamente a insolação, como coberturas e fachadas. A radiação de ondas curtas provenientes do sol e sua conversão em calor, eleva as temperaturas das superfícies externas e promovem o fluxo de calor para o interior da edificação (GHISI; LAMBERTS, 2000). Materiais como telhas cerâmicas, paredes de alvenaria, frequentemente utilizados em habitações tradicionais, apresentam maior capacidade de reduzir esses fluxos térmicos. No entanto, em habitações emergenciais constituídas por contêineres, o comportamento térmico é crítico, devido à alta condutividade térmica do aço (BUGES *et al.*, 2015).

Figura 1 - Radiação solar nas edificações.



Fonte: LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014.

Os contêineres marítimos possuem superfícies metálicas que absorvem intensamente a radiação solar, promovendo o acúmulo de calor e consequentemente elevação da temperatura interna. A radiação solar combinada com as características da envoltória do contêiner resulta em ganhos térmicos durante o dia no interior da habitação (CARELLI; ROLA, 2022). Estudos apontam que, sem intervenções como sombreamento, isolamento térmico adequado e ventilação cruzada, essas estruturas apresentam elevado risco de superaquecimento, principalmente em zonas bioclimáticas mais quentes (CALDAS *et al.*, 2020).

A condutividade térmica é definida pela ASHRE 90.1 (2022) como a capacidade que um material tem de conduzir calor. Essa propriedade física é primordial para a avaliação de desempenho térmico dos componentes da envoltória, como paredes, coberturas e pisos, influenciando diretamente no parâmetro central analisado para o dimensionamento de sistemas de isolamento. Materiais com menor condutividade térmica contribuem significativamente para

redução da demanda energética direcionada a aquecimento e resfriamento residenciais (ASHRE 90.1, 2022). Materiais com alta condutividade térmica, como o aço, permitem a rápida transferência de calor entre o meio externo e interno, favorecendo os ganhos térmicos elevados em climas quentes e as perdas em climas frios (CAETANO; SOUZA; GOMES, 2022). Na arquitetura bioclimática, a definição dos materiais que compõe a estrutura interna da edificação é fundamental para garantir condições ideais para os usuários. Neste sentido, a utilização de contêineres metálicos como moradia apresenta limitações, devido a condutividade térmica elevada do aço, que dificulta as trocas de calor (GHISI; GOSCH; LAMBERTS, 2007). Simulações térmicas realizadas por pesquisadores demonstram que, mesmo em regiões de clima ameno, as máximas de temperatura de casas contêineres podem ultrapassar os limites recomendados por normas técnicas, caso não sejam aplicadas soluções de isolamento (CALDAS *et al.*, 2020).

A transmitância térmica, conforme a definição da ASHRE 90.1 (2022), representa a taxa de calor por unidade de área de um componente construtivo, considerando as resistências térmicas de todos os materiais utilizados e as superfícies de troca com o ambiente. Valores baixos de transmitância térmica indicam menor perda ou ganho de calor através da envoltória, o que leva a uma redução da carga térmica da habitação, indicando melhor desempenho térmico (ASHRE 90.1, 2022). Em edificações tradicionais, a transmitância térmica pode ser controlada pela definição de materiais com baixa condutividade térmica ou uso de isolante, no entanto, em casas contêineres, as superfícies metálicas resultam em alta transmitância térmica (CARELLI; ROLA, 2022). Os valores de transmitância térmica dos painéis metálicos excedem os limites recomendados pela NBR 15575 (CALDAS *et al.*, 2020). O controle da transmitância térmica é um dos principais desafios técnicos para adaptação de contêineres para fins habitacionais, sendo o uso de mantas térmicas e painéis com núcleo isolante apontados como estratégias eficazes para reduzir a transmitância térmica (VIANA *et al.*, 2019).

A resistência térmica é a propriedade que representa a resistência à transferência de calor de um material ou componente construtivo, parâmetro essencial para determinar o isolamento térmico de camadas individuais. Em conjunto com a condutividade térmica, permite o cálculo de desempenho geral da envoltória (ASHRE 90.1, 2022). Quanto maior a resistência térmica de um componente, menor será a transferência de calor por condução, o que favorece o desempenho térmico da edificação. Contêineres metálicos apresentam baixa resistência térmica, o que contribui para rápida entrada de calor durante o dia e perdas significativas à (CARELLI; ROLA,

2022). Além disso, a resistência térmica influencia diretamente no tempo de resposta térmica da edificação, gerando maior estabilidade das temperaturas internas e redução do uso de sistemas de climatização mecânicos (GHISI; LAMBERTS, 2000). Fariña *et al.* (2024) analisa diferentes configurações de isolamento de uma habitação em contêiner por meio de simulações térmicas, e fornece evidências que corroboram acerca da importância da integração entre materiais de baixa condutividade térmica, alta resistência térmica e estratégias que visam a redução da transmitância térmica, a fim de otimizar o desempenho térmico de habitações em contêineres.

A análise térmica fundamentada em solstícios e equinócios tem sido abordada em estudos recentes como maneira de proporcionar uma análise abrangente das variações sazonais da radiação solar e dos impactos no desempenho térmico das edificações. Li *et al.* (2021), apontam que esses marcos representam condições limite relevantes para avaliar cargas térmicas, ventilação natural e potencial sombreamento. Os solstícios, correspondentes aos dias de maior e menor duração do ano, e os equinócios, caracterizados pelo equilíbrio entre luz e sombra, oferecem bases consistentes para analisar a influência solar no comportamento térmico ao longo do ano, permitindo visualizar cenários de verão e inverno mais precisos. Em edificações sensíveis a radiação, como habitações metálicas e estruturas modulares, a literatura recente demonstra que simulações baseadas em solstícios e equinócios são essenciais para identificar pontos críticos de superaquecimento e perdas térmicas. Caetano *et al.*, (2022) evidenciam que o solstício de verão constitui o marco mais adequado para avaliar riscos de sobrecarga térmicas em invólucros de alta condutividade, enquanto o solstício de inverno permite identificar a necessidade de retenção de calor. Estudos como o de Qian *et al.* (2023) demonstram que essa abordagem, melhora a capacidade de previsão do comportamento térmico anual considerando os extremos sazonais. Trabalhos como os de Hemmati e Tariku (2019) indicam que essa abordagem aprimora a definição de estratégias passivas, como orientação solar, dimensionamento de aberturas, seleção de materiais e sombreamento dinâmico, auxiliando em soluções arquitetônicas mais eficientes e ambientalmente adequadas. Assim, o uso desses marcos em simulações permite a construção de modelos mais representativos da realidade climática anual, fortalecendo a precisão das avaliações e subsidiando decisões de projeto com maior embasamento técnico.

3.9 Simulações computacionais e integração BIM/BES

O uso de simulações computacionais tem se consolidado como ferramenta essencial na avaliação do desempenho térmico de edificações. Por meio dessas simulações é possível prever

o comportamento térmico da edificação associada a diferentes soluções construtivas, auxiliando no processo de decisões de projetos mais eficientes (OLIVEIRA *et al.*, 2020). Diante das normativas e a busca por construções mais sustentáveis junto as diretrizes de desempenho estabelecidas pela NBR 15575, essa estratégia se torna relevante (ABNT, 2021). Estudos recentes têm aplicado *softwares* de simulação térmica como o *EnergyPlus*, *Design Builder* e *Thermal Analysis Software* (TAS) para avaliar parâmetros como temperaturas, cargas térmicas e consumo energético em diferentes zonas bioclimáticas (SOUZA *et al.*, 2021; MARTINS; FERREIRA; GOMES, 2022). Estes *softwares* permitem a modelagem detalhada do edifício e sua interação com o meio em que serão implantados, considerando variáveis como orientação solar, ventilação natural e sombreamento. A integração dessas ferramentas com metodologias baseadas no *Building Information Modeling* (BIM), ampliam a precisão e a eficiência dos estudos térmicos (RODRIGUES; SANTOS; ALMEIDA, 2021).

As simulações térmicas contribuem para a comparação entre soluções convencionais e alternativas, especialmente quando aplicadas à habitações de interesse social ou emergenciais, que demandam baixo custo e desempenho adequado. Segundo Pereira *et al.* (2023), a simulação computacional é fundamental para demonstrar a eficiência de estratégias como telhados verdes, isolamentos térmicos de baixo custo e ventilação cruzada em modelos habitacionais. Desta maneira a simulação tem sido uma importante aliada nas propostas de soluções adaptadas ao contexto climático.

Destaca-se o suporte das simulações computacionais para as certificações ambientais, como *Leadership in Energy and Environmental Design* e *Haute Qualité Environnemental* (LEED e AQUA-HQE), bem como para o atendimento de políticas públicas voltadas à sustentabilidade. Conforme Lima e Costa (2020), as simulações térmicas computacionais têm potencial técnico, educativo e normativo, incentivando práticas mais conscientes. Com isso, a consolidação do uso dessas ferramentas contribui tanto para o meio acadêmico e científico quanto profissional, para desenvolvimento de projetos e avaliações de edificações quanto ao desempenho termo energético.

Apesar dos avanços nas pesquisas relacionadas ao desempenho térmico de edificações em contêineres, a literatura apresenta limitações. Muitos estudos concentram-se em análises pontuais, restritas a contextos climáticos específicos ou a simulações sem comparações sistemáticas entre diferentes zonas bioclimáticas. Além disso, observa-se que parte das pesquisas adotam metodologias que não exploram plenamente o potencial de integração entre modelagem

e ferramentas de simulação, limitando a replicabilidade dos resultados. Embora existam estudos sobre o desempenho térmico de contêineres, há escassez de análises comparativas entre zonas bioclimáticas distintas utilizando integração BIM/BES, especialmente no contexto de habitações emergenciais. Diante desta lacuna científica, o presente trabalho busca contribuir ao investigar o desempenho térmico de habitações emergenciais em contêineres em diferentes zonas bioclimáticas, por meio da integração entre modelagem BIM e simulação térmica, ampliando a compreensão sobre a adequação dessas soluções em distintos contextos climáticos.

4. METODOLOGIA

A metodologia deste estudo foi estruturada com o objetivo de avaliar o desempenho térmico de habitações emergenciais que utilizam contêineres marítimos em sua estrutura, localizadas em cidades portuárias de diferentes zonas bioclimáticas. A abordagem adotada combina diversas propostas construtivas do modelo habitacional a diferentes características climáticas, analisadas por meio de simulações computacionais. As etapas metodológicas contemplam a seleção das zonas bioclimáticas de acordo com as localidades de aplicação, a definição das estratégias bioclimáticas e as combinações destas aplicadas ao módulo, e o comparativo das análises para definição dos módulos de melhor desempenho para cada localidade (Figura 2).

Figura 2 – Fluxograma da metodologia



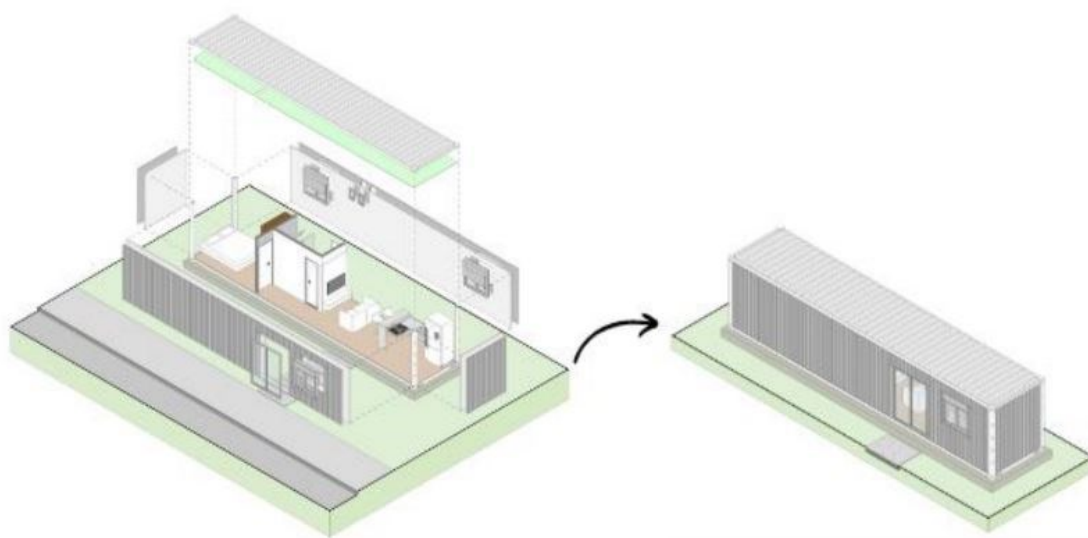
Fonte: Autora.

O módulo referencial, representativo da tipologia habitacional analisada é proveniente de estudo anterior, de Da Costa *et. al.* (2023), que teve como objetivo avaliar, por meio de modelagem BIM e simulações termo energéticas, o desempenho térmico de um módulo de

contêiner em três cenários: ausência de isolamento, uso de lã de Polietileno Tereftalato (PET) e uso de lã mineral. As simulações, realizadas para dois climas tropicais brasileiros, demonstraram que a aplicação de isolantes térmicos reduz o consumo energético para resfriamento, destacando o uso da lã mineral que apresentou o melhor desempenho térmico, proporcionando maiores reduções de carga térmica. Assim este estudo se apoia nesse resultado, adotando o módulo isolado com lã mineral como base para novas análises incluindo adaptações construtivas e estratégias bioclimáticas aplicáveis às habitações emergenciais em diferentes zonas bioclimáticas.

O módulo referencial trata-se de uma habitação em contêiner de 40 pés, com invólucro composto por lã mineral nas paredes e piso em compensado naval, subdividido em uma cozinha de 6,98 m² integrada a sala de 7,36 m², um banheiro de 3,01 m² e um quarto de 7,74 m², externamente, o contêiner apresenta cor natural do aço corten que compõe a estrutura. (Figura 3).

Figura 3 – Módulo do contêiner referência.



Fonte: (DA COSTA *et al.*, 2023).

A modelagem do contêiner e suas variações propostas foram realizadas em BIM utilizando o *software* Revit 2025. Com base no estudo de Vaz *et al.* (2024), a simplificação de elementos complexos na geometria contribui significativamente para a transferência de dados BIM/BES. Desta maneira foi realizada a modelagem simplificada da geometria do contêiner

conforme Figura 4 e adicionadas informações ao modelo BIM, como propriedades térmicas dos materiais, orientação solar de acordo com cada localidade proposta e ganhos de calor nos espaços conforme as agendas de ocupação. Ressalta-se que a simplificação geométrica adotada no modelo pode ter reduzido a representação de efeitos associados às pontes térmicas, uma vez que elementos construtivos mais detalhados na envoltória não foram modelados fielmente, o que constitui uma limitação inerente à abordagem adotada.

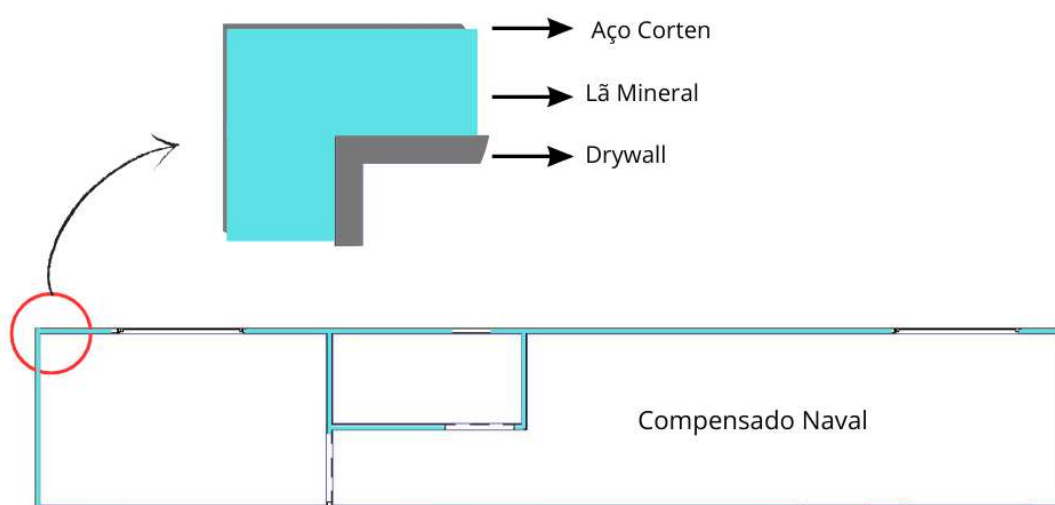
Figura 4 - Planta Baixa modelagem simplificada do contêiner com identificação dos ambientes.



Fonte: Autora.

Na Figura 5 ilustra-se a composição das paredes, para as quais foi utilizado o método “parede cebola” que segmenta a estrutura original em camadas de geometria simples, tornando possível configurar as características térmicas de cada material que compõe esta estrutura conforme Tabela 4.

Figura 5 - Materiais da envoltória.



Fonte: Autora.

Tabela 4 - Propriedades dos materiais da envoltória de acordo com Da Costa et al., (2023).

Material	Espessura (mm)	Condutividade Térmica (W/m.K)	Resistência Térmica (m².K/W)	Densidade (Kg/m³)	Transmitância Térmica (W/m².°C)
Aço Corten	2,6	55	4,72.	7800	21.153,85
Lã Mineral	50	0,031	1,61	32	0,62
Drywall	18	0,35	0,05	720	19,44
Compensado Naval	30	0,12	0,25	450	4,00

Fonte: Da Costa et. al. (2023).

Em seguida foram escolhidas as localizações de implantação do módulo para este estudo. Para isto, foi realizado o levantamento de dados de movimentação de contêineres em portos de todos os continentes, conforme Tabela 5. A alta movimentação de contêineres sugere que nestes portos se concentrem quantidades altas de contêineres armazenados em desuso.

Tabela 5 – Maiores portos de cada continente em movimentação de contêineres.

Continente	País	Localidade do porto	Movimentação de Contêineres (Milhões/ano)
África	África do Sul	Durban	3,3
América do Norte	Estados Unidos	Los Angeles	20,1
América do Sul	Brasil	Santos	4,8
Ásia	China	Shangai	47,03
Europa	Alemanha	Roterdã	14,3
Oceania	Austrália	Sidney	1,85

Fonte: Dados (FUNCHAL, 2023).

Devido a finalidade emergencial proposta para este estudo, tornou-se necessário verificar a incidência de desastres naturais que ocasionam perda de moradias nestas localidades. Os registros apresentados na Tabela 6 são de recorrência dos últimos 10 anos.

Tabela 6 - Incidência de desastres em cidades portuárias.

Cidade Portuária	Registro de incidência	Desastres	Impacto Habitacional
Durban	2022 e 2019	Inundações provocadas por chuvas torrenciais	~3940 casas destruídas ou danificadas
Los Angeles	2017, 2019, 2020, 2023, 2025	Incêndios florestais, tempestades de calor	~18190 estruturas danificadas
Santos	2023	Inundações por chuvas intensas e deslizamentos de encostas	~3000 pessoas evacuadas e diversas moradias destruídas
Shangai	2021, 2024	Tufões, maré de tempestade	Evacuação da população, áreas residenciais alagadas
Roterdã	Alerta de inundação costeira recorrente	Elevação do nível do mar, marés de tempestade	O alto risco exige diques e barreiras constantes. Medidas preventivas adotadas em toda a Europa evitam perdas de moradias.
Sidney	2019, 2022	Inundações por chuvas intensas	Centenas de moradias danificadas

Fonte: Dados (Climate-X, 2024; Climate change post, 2024; Planetizen, 2021; WERNER *et al.*, 2022; Port of rotterdam authority, 2023).

A próxima etapa contemplou a análise da classificação bioclimática de cada localidade de acordo com a classificação de Köppen Geiger (Tabela 7).

Tabela 7 - Maiores portos e classificação climática de acordo com Köppen Geiger.

PORTO	CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA
Durban	Clima subtropical úmido (CFA)
Los Angeles	Clima mediterrâneo (CSA)
Santos	Clima tropical úmido (AF)
Shangai	Clima subtropical úmido (CFA)
Roterdã	Clima temperado Ocêânico (CFB)
Sidney	Clima subtropical úmido (CFA)

Fonte: Dados (KOTTEK *et al.*, 2006).

Devido a três localidades serem de uma única zona bioclimática, como pode ser visto na Tabela 7 optou-se por uma cidade portuária de cada zona. Para isso, foi selecionada a cidade de maior movimentação anual de contêineres, uma vez que esta provavelmente apresenta, o maior número de contêineres armazenados em desuso. No entanto, no caso da Europa, não foram encontrados registros de desastres naturais recentes que impactaram na perda de moradias, devido a medidas preventivas que combinam estratégias de infraestrutura e soluções baseadas na natureza. A sinergia entre estratégias físicas e ecológicas reduziram os riscos de colapsos habitacionais, promovendo proteção a população residente em áreas vulneráveis dos portos europeus. Com isso, a Europa como um todo foi retirada deste estudo. Assim, determinou-se 3 localidades em 3 zonas bioclimáticas distintas:

- Shanghai (China) - 31° 14' N e 121° 29' L

Localizado no continente Asiático, detém o maior volume mundial em movimentação de contêineres com 47,03 milhões por ano, de clima subtropical úmido (CFA).

- Los Angeles (Estados Unidos) - 34° 03' 14" N e 118° 14' 42" O

Localizado na América do Norte, detém uma movimentação de 20,1 milhões de contêineres por ano, de clima mediterrâneo (CSA).

- Santos (Brasil) - 23° 56' 26" S e 46° 19' 47" O

Localizado na América do Sul, detém uma movimentação de 4,8 milhões de contêineres por ano, de clima tropical úmido (AF).

Na sequência foram levantadas as principais estratégias bioclimáticas para cada uma das classificações, por meio de pesquisa fundamentada na literatura. Assim cada classificação climática foi associada a recomendações projetuais específicas, permitindo reconhecer quais estratégias se mostram mais adequadas ao desempenho térmico das edificações. Esse procedimento possibilitou selecionar as soluções coerentes e recorrentes para os locais do estudo, assegurando que as diretrizes adotadas estivessem alinhadas tanto às características climáticas, quanto aos princípios de projeto bioclimático consolidados na literatura. Essa etapa permitiu determinar as principais estratégias de condicionamento passivo — como ventilação natural, sombreamento e coberturas eficientes — a serem priorizadas nas simulações de desempenho térmico conforme as características específicas de cada zona bioclimática proposta. Na Tabela 8 as estratégias bioclimáticas selecionadas são apresentadas.

Tabela 8 – Estratégias bioclimáticas selecionadas

Estratégias	Características
Ventilação Natural	São explorados os efeitos de pressão negativa e positiva do ar que o vento exerce sobre uma edificação, sendo preciso posicionar as aberturas em zonas opostas.
Sombreamento	Capaz de reduzir os ganhos solares através do envelope da edificação, projetada para evitar o ganho solar em períodos mais quentes sem afetar a iluminação natural.
Coberturas Eficientes	Utilizam de componentes de alta inércia térmica capazes de reduzir as amplitudes térmicas internas.

Fonte: ProjetEEE, 2017.

Com base na seleção das estratégias bioclimáticas foram escolhidas as técnicas e materiais que as tornem mais efetivas. Para a ventilação natural, foram realizados testes para análise prévia da ventilação, os quais permitiram a seleção da melhor disposição de aberturas para a eficácia desta estratégia.

4.1 Ventilação Natural

Como abordado na revisão da literatura, a ventilação natural contribui significativamente para melhorar as condições térmicas internas, com isso, foi realizada a verificação da melhor disposição das aberturas, a fim de potencializar os resultados dessa estratégia. Para as configurações das aberturas foram realizadas cinco análises com base nos princípios de ventilação cruzada. Ainda em ambiente BIM o módulo referencial foi modificado quanto a quantidade de janelas e altura de seus peitoris, para a análise da estratégia bioclimática de ventilação natural.

Foram propostas cinco análises do fluxo de ventos no interior do módulo, sendo essas:

- Módulo 1: original do estudo de Da costa *et. al.* (2023) sem qualquer alteração (MR);
- Módulo 2: Módulo 1 com adição de uma janela na fachada frontal e uma na fachada posterior, ambas no ambiente sala/cozinha;
- Módulo 3: Módulo 2 com alteração do peitoril das janelas da fachada posterior para 1,60m.
- Módulo 4: Módulo 2 com alteração do peitoril das janelas da fachada frontal para altura de 1,60m.

- Módulo 5: Módulo 2 com alteração o peitoril de todas as janelas para 1,60m.

Para a análise da ventilação foram utilizados os *softwares* CFD Autodesk e Design Builder. A utilização de mais de um *software* de simulação permite uma análise mais abrangente e precisa do ambiente, corroborando com Alonso, Dols e Mathisen (2021). Essa integração é útil para avaliar interações mais complexas das variáveis envolvidas, que dificilmente são completamente representadas por um único *software*. Os *softwares* do tipo *Computational Fluid Dynamics* (CFD) preveem como os líquidos e gases irão se comportar por meio de simulações computacionais de dinâmica dos fluidos, permitindo a tomada de decisões críticas de *design* que reduzam o consumo de energia (Autodesk CFD, 2024). O Design Builder é um *software* utilizado para análises termo energéticas, dentre elas a simulação de CFD baseada no modelo 3D, que exibe resultados gráficos de vetores de velocidade permitindo interpretações sobre a eficácia da ventilação (Design Builder, 2024).

Após a modelagem em BIM foi realizado o processo de exportação dos arquivos para os *softwares* BES (*Building Energy Simulation*). O CFD Autodesk realiza a leitura de arquivos no formato ACIS CAD que transfere todos os dados acerca da modelagem tridimensional, mas requer nova configuração quanto às propriedades dos materiais, uma vez que este formato não carrega estas informações. Deste modo foram configurados todos os materiais relevantes no CFD Autodesk de acordo com as propriedades apresentadas na Tabela 2. Para a configuração dos parâmetros de análise quanto a simulação da ventilação, foi necessária configuração prévia em cada um dos *softwares*. No CFD Autodesk houve a necessidade de configurar o ar como fluido no interior do módulo, bem como indicar as aberturas de entrada e saída de ar. No Design Builder foi adotado o *template* de ventilação natural do banco de dados do *software*, que traz parâmetros pré-configurados acerca da ventilação natural de uma edificação para fins residenciais. Em seguida os modelos foram simulados. Após as simulações foram analisados os resultados e, a partir destes, escolhida a opção com maior fluxo de ventos no interior do módulo. Para a configuração das simulações, adotou-se um cenário crítico de verão, considerando a condição de superaquecimento característica de edificações em contêiner, decorrente da elevada condutividade térmica do aço. A definição desse cenário baseou-se no histórico de temperaturas máximas das localidades selecionadas, estabelecendo-se a temperatura externa de 37 °C como condição de contorno para o ambiente externo, e velocidade máxima dos ventos de 0,09 m/s. O módulo foi mantido totalmente exposto à radiação solar direta, sem qualquer dispositivo de sombreamento, de modo a representar a situação mais severa de carregamento térmico.

4.2 Estratégias de cobertura e sombreamento

Para a estratégia de cobertura eficiente foram testados três tipos de cobertura: cobertura reflexiva, telhado verde e telha termoacústica isolada com EPS. As características térmicas dos componentes das coberturas são apresentadas na Tabela 9, de acordo com valores especificados na NBR 15220-2, fabricantes e artigos relacionados.

Tabela 9 - Características térmicas dos componentes de cobertura.

Camadas	Espessura (mm)	Condutividade Térmica (W/m.K)	Resistência Térmica (m ² .K/W)	Densidade (Kg/m ³)
Manta Reflexiva				
-	8	0,041	0,1220	33
Cobertura Verde				
Argila expandida	40	0,16	0,25	350
Impermeabilização	5	0,23	0,0217	1100
Filtro (Geotêxtil)	1	0,22	0,0045	910
Substrato	100	0,20	0,500	1020
Forração	100	-	-	-
Cobertura Isolada (EPS)				
Telha em Aço	1	55	$9,09 \cdot 10^{-6}$	7800
Poliestireno Expandido (EPS)	50	0,040	1,25	35

Fontes: NBR 15220-2, Scolari, Ghisi e Silva (2024), Jamantha (s.d.).

Diversos estudos fazem a análise do uso de coberturas termoacústicas como estratégia para mitigar os efeitos das elevadas cargas térmicas em habitações construídas a partir de contêineres marítimos. Baseado nestes estudos foi analisado o sombreamento da fachada crítica com extensão da cobertura em telha termoacústica, composta por duas camadas de aço galvanizado e um núcleo isolante de poliestireno expandido (EPS), conforme Tabela 9.

Para esta análise foi necessário um estudo de insolação para determinação da fachada crítica. A partir dos arquivos bioclimáticos inseridos no *software Climate Consultant 6.0* foram extraídas as cartas de sombreamento solar que possibilitaram a análise de dados de temperaturas

e determinação dos dias e horários críticos, bem como a orientação solar de maior ganho térmico. O cálculo da profundidade do elemento de sombreamento é essencialmente geométrico, dependendo da altura da superfície a ser protegida e do ângulo de altitude solar nos horários selecionados. Desta maneira as análises foram conduzidas por meios dos dados obtidos das cartas de sombreamento solar fornecidas pelo *Climate Consultant* 6.0 e das simulações locais do *Design Builder*, produzidas com base no arquivo bioclimático ou pelo banco de dados dos *softwares*.

Para Santos, tanto a carta de sombreamento quanto a simulação com o Design Builder, foram produzidas a partir de arquivo bioclimático externo, provenientes do banco de dados brasileiro, ProjetEEE. Para as localidades de Los Angeles e Shangai os dados bioclimáticos foram obtidos a partir do banco de dados dos *softwares*. A partir da carta de sombreamento tornou-se possível identificar os períodos com maiores temperaturas e a fachada de maior insolação e, com estas definições, o estudo dos ângulos solares foi realizado por meio da análise de resultados da simulação local no *Desing Builder*.

Com os ângulos solares definidos para os dias e horários críticos, procedeu-se ao cálculo da profundidade do beiral para os horários críticos utilizando a Equação 1.

Equação 1 - Cálculo de sombreamento.

$$D = \frac{H}{\tan(\alpha)}$$

em que:

- **D:** corresponde à profundidade necessária do beiral (m);
- **H:** é a altura da superfície a ser protegida, medida a partir do peitoril da janela até o ponto superior de incidência solar (m);
- **α :** representa o ângulo de altitude solar para o horário crítico (°).

Deste modo, a equação foi empregada para cada uma das localidades de estudo visando a definição da profundidade do beiral.

4.3 Cenários de simulação

Todos os contêineres foram modelados de maneira simplificada no Revit, contemplando as camadas com suas respectivas propriedades térmicas, seguindo fielmente o estudo conduzido por Da costa *et al.* (2023). Foi necessário ajustar a espessura da telha de aço para 1 mm, correspondente ao limite mínimo permitido para o material no ambiente de modelagem. As

definições de módulo, localidade e estratégias, foram associadas para as análises em cada cenário proposto, sendo configuradas nesta etapa. Todos os espaços analisados são ventilados naturalmente, desta maneira não foi avaliada nesta pesquisa a eficiência energética. O desempenho térmico da habitação foi avaliado com base em simulação computacional utilizando o *software* Design Builder.

O Design Builder é uma ferramenta de simulação que permite a inserção de dados climáticos reais de uma zona para verificar como a edificação se comportaria em condições reais, permitindo a análise do ar interno, as temperaturas médias radiantes e operacionais, transmissão de calor por meio da estrutura da edificação, incluindo paredes, telhados e ventilação, as cargas de aquecimento e resfriamento, efeitos do sombreamento, entre outros parâmetros de análise. O uso desse *software* permite a investigação dos efeitos das variações nos parâmetros de projeto em uma série de critérios de desempenho. Para cada uma das zonas bioclimáticas foram realizadas treze simulações para análise de desempenho térmico, com um cenário original, mais três cenários com quatro composições distintas para cada um, totalizando 39 simulações para análise e discussão dos resultados. Os cenários são assim discriminados conforme na Figura 6.

Figura 6 - Cenários de simulação.

MÓDULOS	VENTILAÇÃO	SOBREAMENTO	COBERTURA REFLEXIVA	COBERTURA VERDE	COBERTURA ISOLADA COM EPS
MR					
MV	✓				
MVR	✓		✓		
MVV	✓			✓	
MVI	✓				✓
MS		✓			
MSR		✓	✓		
MSV		✓		✓	
MSI		✓			✓
MVS	✓	✓			
MVSR	✓	✓	✓		
MVSV	✓	✓		✓	
MVSI	✓	✓			✓

Desta maneira os módulos de análise são:

MR. Modulo original;

MV. Módulo + Ventilação natural;

MVR. Módulo + Ventilação natural + cobertura Reflexiva;

MVV. Módulo + Ventilação natural + Cobertura verde;

MVI. Módulo + Ventilação natural + cobertura Isolada com EPS;

MS. Módulo + Sombreamento;

MSR. Módulo + Sombreamento + cobertura Reflexiva;

MSV. Módulo + Sombreamento + cobertura Verde;

MSI. Módulo + Sombreamento + cobertura Isolada com EPS;

MVS. Módulo + Ventilação natural + Sombreamento;

MVSR. Módulo + Ventilação natural + Sombreamento + cobertura Reflexiva;

MVSV. Módulo + Ventilação natural + Sombreamento + cobertura Verde;

MVSI. Módulo + Ventilação natural + Sombreamento + cobertura Isolada com EPS;

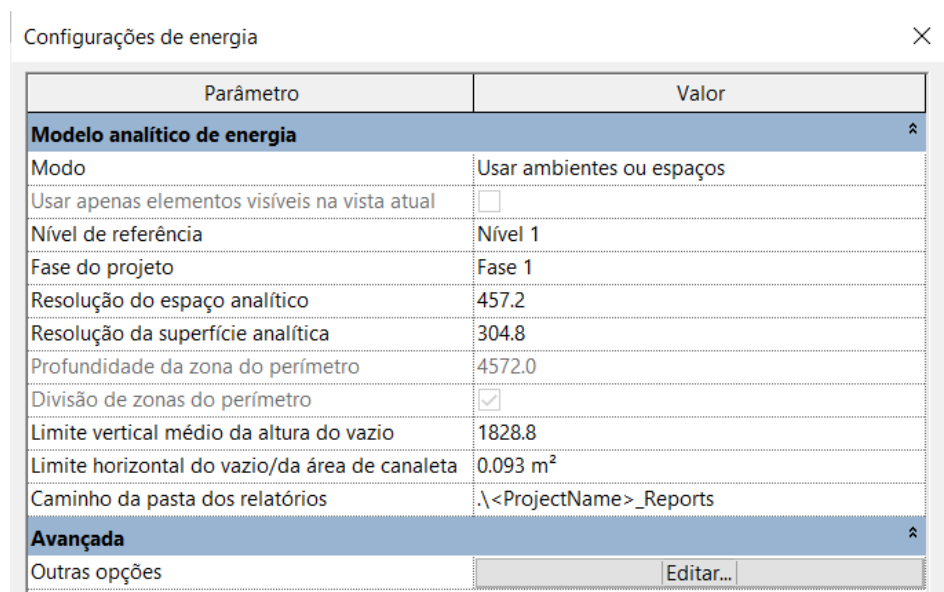
4.4 Preparação do modelo analítico

Para a simulação energética com o Design Builder, foi necessário configurar o modelo analítico de energia do Revit de modo a garantir a consistência dos dados exportados para o Design Builder. De acordo com o procedimento descrito no tutorial do *software* (Design Builder, 2022), o processo inicia-se pela definição dos limites do modelo analítico, que são estabelecidos a partir dos elementos construtivos de projeto, como pisos, paredes, coberturas e aberturas.

No Revit, a criação do modelo analítico ocorre com base no método “*Rooms/Spaces*”, que permite a associação das geometrias arquitetônicas e zonas térmicas. Cada ambiente é identificado como uma zona energética independente, possibilitando que o formato *Green Building XML* (gbXML) exporte informações de volume, área e orientação solar para posterior análise no *Design Builder*. Essa etapa requer a verificação dos elementos construtivos e do fechamento dos espaços, assegurando que não existam descontinuidades nas superfícies, pois tais inconsistências podem comprometer a leitura correta no *software* de simulação. As etapas descritas a seguir ilustram o processo de preparação do modelo de energia.

A primeira etapa consistiu na modificação das configurações energéticas do Revit, de acordo com as especificidades do modelo a ser analisado. Conforme Figura 7, foram definidos os principais parâmetros necessários para criação do modelo analítico de energia. O modo de configuração adotado foi o de “Ambientes e Espaços”, permitindo posterior atribuição de dados de ocupação e cargas térmicas de cada zona definida. O projeto apresenta apenas um nível de referência, e a fase considerada para a simulação foi denominada Fase 1. As resoluções de espaço e superfície analítica, assim como os limites de cálculo não sofreram alterações, permanecendo com os valores padrão fornecidos pelo Revit como pode ser visto na Figura 7.

Figura 7 - Configurações de energia.



Parâmetro	Valor
Modelo analítico de energia	
Modo	Usar ambientes ou espaços
Usar apenas elementos visíveis na vista atual	☐
Nível de referência	Nível 1
Fase do projeto	Fase 1
Resolução do espaço analítico	457.2
Resolução da superfície analítica	304.8
Profundidade da zona do perímetro	4572.0
Divisão de zonas do perímetro	☒
Limite vertical médio da altura do vazio	1828.8
Limite horizontal do vazio/da área de canaleta	0.093 m ²
Caminho da pasta dos relatórios	.\<ProjectName>_Reports
Avançada	
Outras opções	Editar...

Fonte: Autora. 2025.

Na Figura 8, é possível observar o detalhamento das Configurações Avançadas. Para a complexidade de exportação foi definida como simples, o serviço de construção adotado foi o de ventilação natural e a categoria selecionada foi espaços de exportação. Na aba de Propriedades Térmicas, em Tipo Esquemático de Construção, optou-se pela sobreposição de todos os materiais configurados, marcando-se também a opção de elementos detalhados. Os demais parâmetros permaneceram com os padrões do Revit, sem nenhuma alteração. Essa configuração possibilita que a maior parte das características térmicas dos materiais previamente definidos no Revit seja transportada de forma automática para o formato gbXML, otimizando a integração com o Design Builder.

Figura 8 - Configurações avançadas de energia.

Configurações avançadas de energia

Parâmetro	Valor
Modelo detalhado	
Percentual de vidraças do alvo	0%
Altura de parapeito do alvo	750.0
A vidraça está sombreada	☐
Profundidade da sombra	457.2
Percentual de claraboias do alvo	0%
Largura e profundidade da claraboia	914.4
Avançada	
Exportar complexidade	Simplex
Tolerância de espaço estreito	304.8
Ambiente de construção	Utilizar o parâmetro de função
Tamanho da célula da grade analítica	914.4
Serviço de construção	Sistemas divididos com ventilação natural
Classe de infiltração de construção	Nenhum
Dados de construção	
Tipo de construção	Unifamiliar
Tabela de operações de construção	Padrão
Sistema AVAC	Ventilação/Ar-condicionado central, Aquecimento HW, Resfriador
Informações sobre o ar exterior	Editar...
Ambiente/Espaço de dados	
Exportar categoria	Espaços
Propriedades térmicas do material	
Tipos conceituais	Editar...
Tipos esquemáticos	<Construção>
Elementos detalhados	☒

[Como estas configurações afetam a análise de energia?](#)

OK Cancelar

Fonte: Autora. 2025.

Em seguida, foi realizada a criação dos espaços analíticos, que foram divididos de acordo com os ambientes e delimitados pelas superfícies de fechamento. É fundamental que cada espaço de análise esteja completamente limitado pelas superfícies adequadas, considerando que inadequações quanto as superfícies podem produzir erros na exportação do gbXML, como geometria incorreta, ausência de paredes e superfícies inválidas. Cada espaço analítico é determinado por um volume, a partir das delimitações físicas (paredes, pisos e coberturas), dessa forma, torna-se necessário atribuir essas variáveis ao cálculo, conforme Figura 9.

Figura 9 -Variáveis de cálculo dos espaços analíticos.

Cálculos de área e volume

Cálculos Esquemas de área

Cálculo de volume

Volumes são calculados nas faces de

☐ Somente áreas (mais rápido)

☒ Áreas e volumes

Cálculo da área do ambiente

☒ No acabamento da parede

☐ No centro da parede

☐ Na camada do núcleo da parede

☐ No centro do núcleo da parede

OK Cancelar Ajuda

Fonte: Autora. 2025.

A segmentação do módulo em espaços de análise permite a configuração de parâmetros como ganho de calor e agendas de ocupação. Estas configurações foram baseadas nas normativas vigentes ASHRAE 90.1-2022 E ISO 17772-1:2017, resumidas nas Tabela 10, 11 e 12.

Tabela 10 - Dados de entrada para o ambiente sala/cozinha.

DADOS	VALOR	UNIDADE	FONTE
Tabela de Ocupação	24	Horas	ISO 17772-1:2017
Densidade carga de iluminação	17,23	W/m ²	ASHRAE 90.1-2022
Densidade de carga de potência	2,4	W/m ²	ISO 17772-1:2017
Trocas de Ar/hora			
Ar externo por pessoa	20	L/s	ISO 17772-1:2017
Ar externo por área	0,5	L/(s.m ²)	ISO 17772-1:2017

Tabela 11 - Dados de entrada para o ambiente quarto.

DADOS	VALOR	UNIDADE	FONTE
Tabela de ocupação	24	Horas	ISO 17772-1:2017
Densidade carga de iluminação	10,77	W/m ²	ASHRAE 90.1-2022
Densidade de carga de potência	2,4	W/m ²	ISO 17772-1:2017
Trocas de Ar/hora			
Ar externo por pessoa	14	L/s	ISO 17772-1:2017
Ar externo por área	0,5	L/(s.m ²)	ISO 17772-1:2017

Tabela 12 - Dados de entrada para o ambiente banheiro.

DADOS	VALOR	UNIDADE	FONTE
Tabela de ocupação	24	Horas	ISO 17772-1:2017
Densidade carga de iluminação	10,77	W/m ²	ASHRAE 90.1-2022
Densidade de carga de potência	2,4	W/m ²	ISO 17772-1:2017
Trocas de Ar/hora			
Ar externo por pessoa	10	L/s	ISO 17772-1:2017
Ar externo por área	0,5	L/(s.m ²)	ISO 17772-1:2017

Ressalta-se, contudo que a modelagem foi conduzida com foco na avaliação comparativa do desempenho térmico da envoltória, de modo que não foram consideradas cargas internas reais e variações dinâmicas de ocupação ou consumo energético dos sistemas, buscando reduzir variáveis de interferência e garantir maior controle metodológico entre os cenários analisados. Desta maneira, os parâmetros contemplados nessas normativas foram ajustados no Revit, enquanto aqueles não especificados permaneceram com os valores padrão do software, definidos de acordo com a finalidade de uso do espaço. Considerando tratar-se de um projeto residencial, foi adotada a tabela padrão de ocupação do Revit para uso doméstico em regime de 24 horas, com especificação individualizada para cada ambiente, conforme Figura 10. A configuração de cada ambiente bem como as tabelas de ocupação pode ser encontrada no Apêndice A.

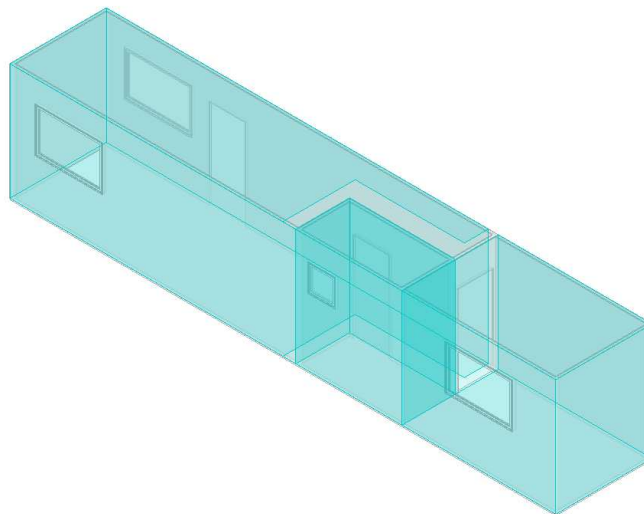
Figura 10 - Configuração da tabela de cargas ambiente Sala/Cozinha.

Parâmetro	Valor
Análise de energia	
Área por pessoa	1.429 m ²
Ganho de calor sensível por pessoa	80.59 W
Ganho de calor latente por pessoa	80.59 W
Densidade de carga de iluminação	17.23 W/m ²
Densidade de carga de potência	2.40 W/m ²
Infiltração de ar por área	0.19 L/(s·m ²)
Contribuição de iluminação do plenum	20.0000%
Tabela de ocupação	Ocupação doméstica - 24 horas
Tabela de iluminação	Ocupação doméstica - 24 horas
Tabela de potência	Ocupação doméstica - 24 horas
Ar exterior por pessoa	20.00 L/s
Ar exterior por área	0.50 L/(s·m ²)
Trocas de ar por hora	0.000000
Método de ar externo	por Pessoa e por Área
Ponto de definição de aquecimento	21.11 °C
Ponto de definição de resfriamento	23.89 °C
Ponto de definição de umidificação	0.0000%
Ponto de definição de desumidificação	70.0000%

Fonte: Autora. 2025.

Após as configurações de exportação, bem como dos ajustes relativos à ocupação e às cargas térmicas de cada espaço, foi gerado o modelo analítico de energia (Figura 11). Por fim, a exportação em formato gbXML é realizada com ajustes nos limites internos e externos das superfícies (interior/exterior), de forma a manter a coerência entre o modelo arquitetônico e o analítico. Essa etapa constitui a base para a importação no *Design Builder*, onde serão atribuídas as propriedades construtivas e operacionais dos elementos para a simulação térmica.

Figura 11 - – Modelo de espaços analíticos do Revit.

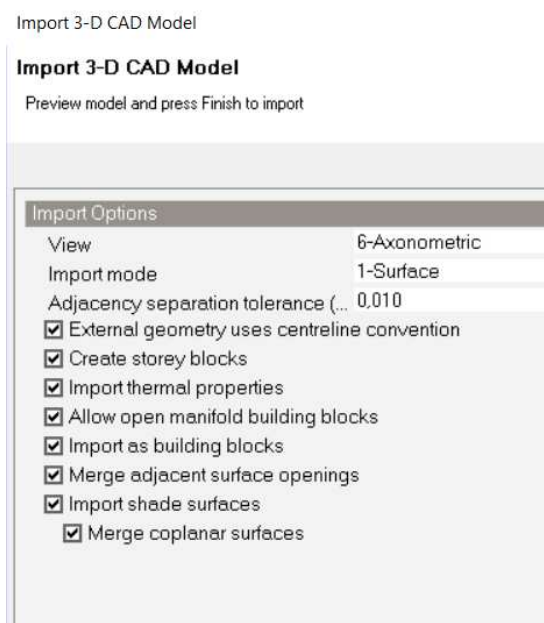


Fonte: Autora. 2025.

4.5 Configurações de simulações BES

No ambiente de trabalho do Design Builder, é necessário que as características térmicas dos materiais sejam solicitadas no momento da importação. Para isto basta seleccionar a caixa de diálogo “*Import thermal properties*” (Figura 12).

Figura 12 - Importação das características térmicas.



Fonte: Autora. 2025.

Após a importação, o bloco correspondente à construção é exibido na área de modelagem do Design Builder, segmentado em espaços de acordo com as configurações previamente estabelecidas no Revit. Na aba “Construção”, é possível verificar se todos os elementos construtivos foram importados corretamente, com suas respectivas propriedades térmicas e características de materiais. Ao seleccionar cada espaço, são listados os componentes construtivos (paredes, piso, cobertura e aberturas) e, ao clicar sobre cada um deles, é possível visualizar os materiais associados e suas propriedades (Figura 13).

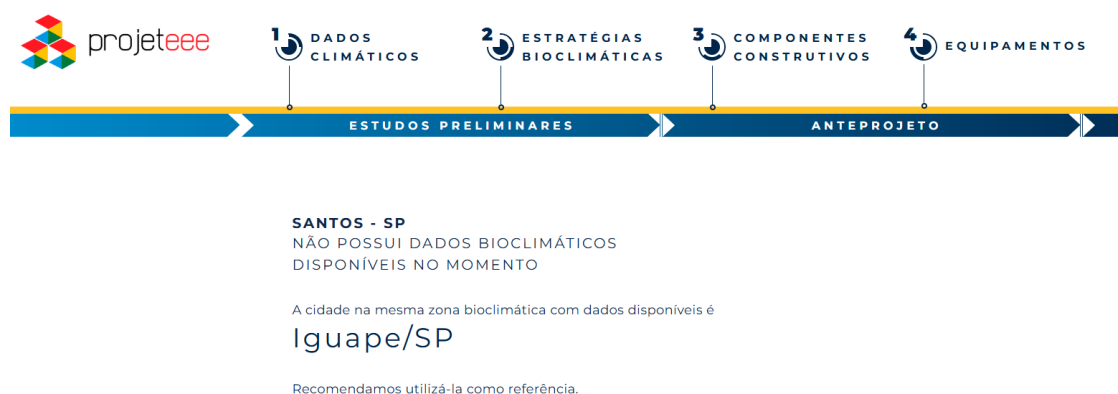
Figura 13 – Características dos materiais da envoltória por componentes de espaço.

Construction Template	
Template	Project construction template
Construction	
Flat roof	gbXML Telhado básico: Telhado Metálico - aim0288
Sub-Surfaces	
Roof	Project roof sub-surface construction
Adjacency	
Zone volume calculations	
Surface Convection	
Natural Vented Cavity	

Fonte: Autora. 2025.

O processo de importação do modelo para o Design Builder resulta na transferência parcial das informações, sendo a localização do projeto um dos dados não incluídos. Dessa forma, tornou-se necessário realizar manualmente a configuração da localidade. O Design Builder dispõe de um banco de dados meteorológico extenso; contudo, quando a cidade de interesse não está disponível, é possível inseri-la por meio de um arquivo bioclimático. As cidades de Los Angeles e Shanghai se encontram no banco de dados do programa, no entanto, para Santos tornou-se necessário a inclusão do arquivo bioclimático. O arquivo bioclimático foi obtido por meio do banco de dados do ProjeTEEE, mas esta cidade não possui dados bioclimáticos, com isso utilizou-se os dados recomendados de Iguape/SP como referência (Figura 14).

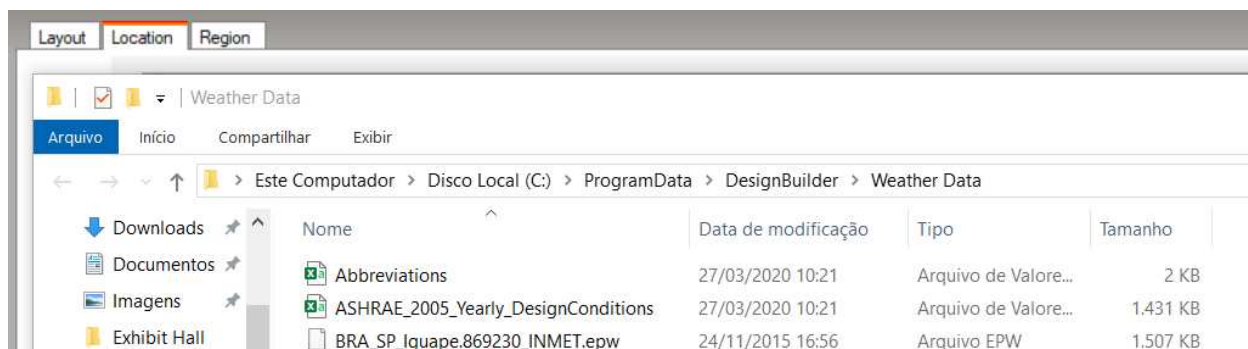
Figura 14 - Dados bioclimáticos para Santos.



Fonte: Banco de dados ProjeTEEE.

Esses arquivos devem ser obtidos no formato *EnergyPlus Weather File* (.epw) e copiados para a pasta de dados meteorológicos do programa, conforme o caminho apresentado na Figura 15.

Figura 15 - Arquivos meteorológicos inseridos no Design Builder.



Fonte: Autora. 2025.

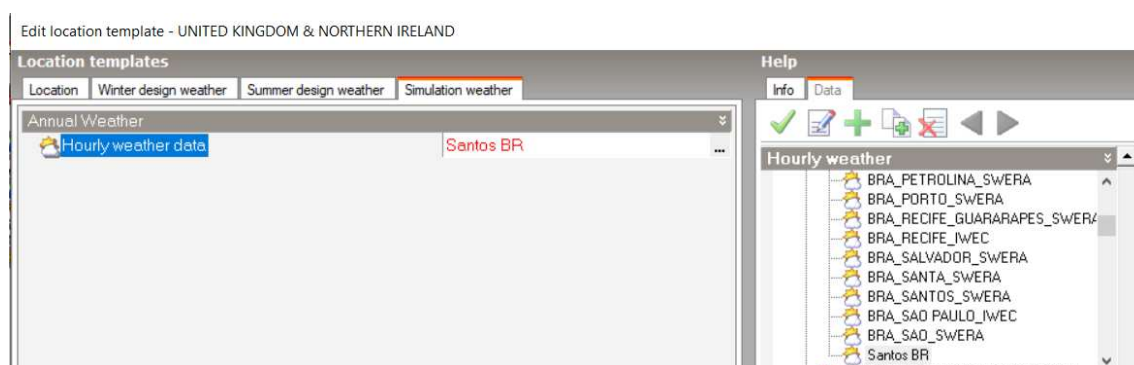
Os passos seguintes consistiram na configuração do *template* da localidade a partir de um arquivo bioclimático externo. Após a cópia do arquivo .epw para a pasta de dados meteorológicos do programa, foi necessário proceder com a sua importação no *Design Builder*. Na aba de localidades da base de dados, selecionou-se o ícone “Add New”, por meio do qual foi possível criar um *template* (Figura 16) e inserir as características referentes à localidade desejada a partir do arquivo meteorológico previamente baixado (Figura 17).

Figura 16 - Template de localidade.



Fonte: Autora. 2025.

Figura 17 - Carregando o arquivo meteorológico.



Fonte: Autora. 2025.

Com a localidade devidamente configurada e aplicada ao modelo, procedeu-se à configuração das atividades da edificação, etapa na qual são consideradas as cargas e ganhos internos, a finalidade de uso e ocupação, as taxas de renovação de ar, tipo de ventilação e demais parâmetros que influenciam no desempenho térmico. A criação de um *template* de atividades contribui para a padronização do processo e favorece a análise comparativa de diferentes geometrias submetidas às mesmas condições de operação. Nesse sentido, foi desenvolvido um *template* denominado “Contêiner”, configurado de acordo com os parâmetros apresentados nas Tabelas 3, 4 e 5, e aplicado a cada espaço de análise. O modelo de referência adotado foi o disponível no banco de dados do Design Builder CBSE TM 59. O TM59 é uma abordagem padronizada para prever o risco de superaquecimento em projetos de edifícios residenciais. Esse modelo foi duplicado e ajustado conforme as tabelas mencionadas, enquanto os demais parâmetros permaneceram inalterados (Apêndice B).

Na aba de construção (Figura 18) nenhum parâmetro foi alterado devido a importação dos dados de elementos e materiais construtivos terem sido herdados do processo de interoperabilidade BIM/BES.

Figura 18 - Parâmetros de construção.

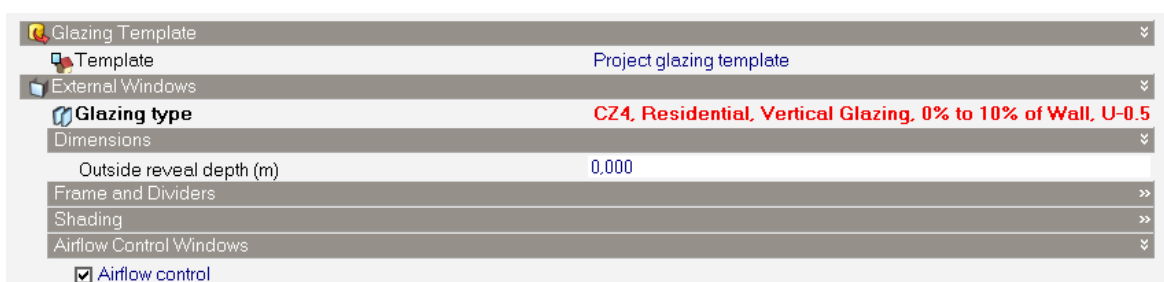
Construction Template	
Template	Project construction template
Construction	
External walls	Project wall
Below grade walls	Project below grade wall
Flat roof	Project flat roof
Pitched roof (occupied)	Project pitched roof
Pitched roof (unoccupied)	Project unoccupied pitched roof
Internal partitions	Project partition
Semi-Exposed	
Semi-exposed walls	Project semi-exposed wall
Semi-exposed ceiling	Project semi-exposed ceiling
Semi-exposed floor	Project semi-exposed floor
Floors	
Ground floor	Project ground floor
Basement ground floor	Project basement ground floor
External floor	Project external floor
Internal floor	Project internal floor

Fonte: Autora. 2025.

As configurações das janelas de correr foram herdadas do processo de transferência, porém a janela do banheiro e as janelas de peitoril elevado do ambiente sala/cozinha não foram importadas, sendo adicionadas no próprio Design Builder após a importação. A janela do banheiro foi configurada como janela envidraçada vertical com 45° de abertura (Figura 17) e as

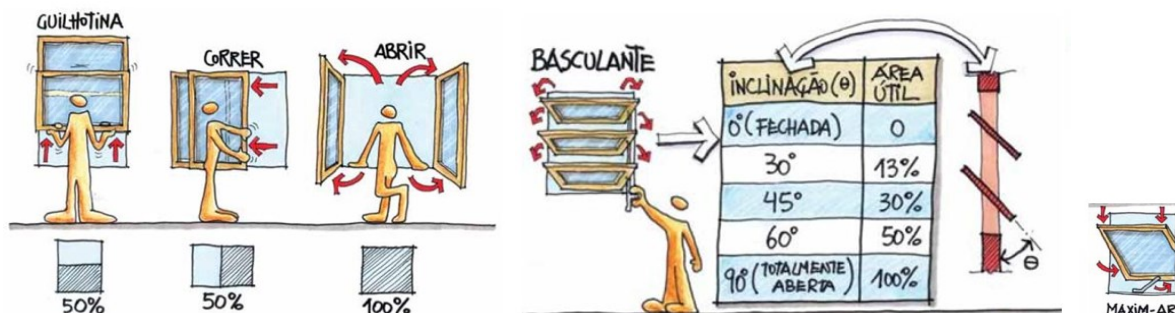
janelas de peitoril elevado foram copiadas a partir da janela importada no ambiente quarto. A operação das esquadrias foi configurada conforme a proposta de Lamberts, Dutra e Pereira (2014), no qual os autores apontam 50% de abertura para janelas de correr e 30% para as janelas maxim-ar com 45° de inclinação (Figura 20), com operação conforme agenda de ocupação. Este procedimento foi executado para todas as janelas do modelo.

Figura 19 - Janela do banheiro modelada no Design Builder.



Fonte: Autora. 2025.

Figura 20 - Percentual de aberturas das esquadrias.



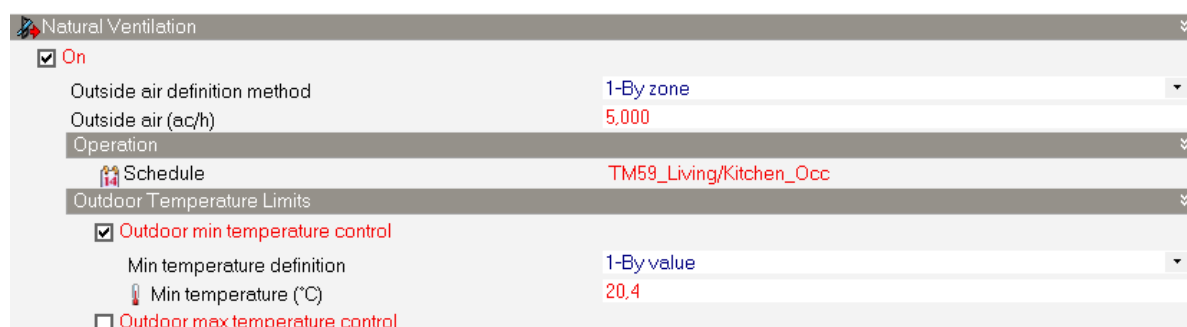
Fonte: LAMBERTS, DUTRA E PEREIRA, 2014.

Os ajustes de iluminação apresentados no Apêndice C foram realizados individualmente para cada espaço de análise, considerando que o ganho luminoso varia em função do uso específico de cada ambiente. Os valores adotados foram definidos conforme parâmetros apresentados nas Tabelas 10, 11 e 12.

Os ajustes relacionados à ventilação seguiram o *template* de ventilação natural disponível no banco de dados do Design Builder. Para a definição da temperatura do ar de abertura das esquadrias, foi utilizado o *software* Climate Consultant 6.0, que produz a carta bioclimática da cidade a partir de um arquivo climático no formato *epw*. Assim, o mesmo arquivo climático empregado na simulação foi inserido no software, permitindo identificar a temperatura mínima de aplicação da estratégia de ventilação natural em cada cidade analisada (Figura 19). Com base

nesse valor, o DesignBuilder foi alimentado com a temperatura de referência na aba “*Natural Ventilation*” (Figura 21).

Figura 21 – Ajuste da temperatura mínima no Design Builder.



Fonte: Autora. 2025.

Os ajustes realizados nos *templates* contribuem para a otimização do fluxo de trabalho, uma vez que, após configurados, podem ser aplicados a diferentes módulos de simulação. Dessa forma, o *template* desenvolvido serviu como referência para as simulações dos demais módulos, sendo necessário apenas configurar os *templates* de localização correspondentes a cada cidade de análise. A etapa seguinte envolveu a seleção dos dados de saída para os cálculos da simulação. Como o *template* TM59 apresenta uma pré-configuração para os cálculos de temperatura, foram retirados dos parâmetros de saída apenas as análises energéticas. Todas os dias e horas do ano de 2024 foram simulados. Dessa forma, as simulações foram executadas diretamente a partir das configurações estabelecidas.

4.6 Parâmetros de desempenho térmico

Dentre os fatores que interferem no desempenho térmico, as normativas têm a função de apontar, por meio de critérios que partem do contexto climático no qual a edificação está inserida, parâmetros para o atendimento às faixas de temperatura operativa ou a carga térmica total dos espaços internos, que podem ser ventilados naturalmente ou ter condicionamento artificial.

A ISO 17772-1 (2017) e a ASHRAE 55 (2020) oferecem subsídios para o método de avaliação ao estabelecerem faixas de temperatura operativa aceitáveis em ambientes naturalmente ventilados, determinadas a partir da média das temperaturas externas do ar. Para a ASHRAE 55 (2020), essas faixas podem ser definidas por meio da Equação 2 e 3.

Equação 2

Limite superior de aceitabilidade de 80% ($^{\circ}\text{C}$) = $0,31 \text{ tpma}(\text{out}) + 21,3$

Equação 3

Limite inferior de aceitabilidade de 80% ($^{\circ}\text{C}$) = $0,31 \text{ tpma}(\text{out}) + 14,3$

Onde: tpma = temperatura média do ar;

As simulações realizadas a partir dos arquivos bioclimáticos permitiram determinar as condições térmicas de cada localidade. Para Santos, o arquivo climático importado do ProjeTEEE possibilitou a obtenção direta das temperaturas médias mensais. Para Los Angeles e Shanghai, cujos arquivos foram extraídos da base de dados do Design Builder, não havia disponibilização direta desses valores. Assim, as temperaturas médias mensais foram obtidas a partir dos gráficos de temperatura de bulbo seco e úmido produzidos pelo Climate Consultant, possibilitando o estabelecimento dos limites de análise. Com as faixas de temperatura operativa definidas, procedeu-se à avaliação dos módulos construtivos simulados. A análise dos cenários de verão e inverno baseados em solstícios fundamenta-se no fato de que esses marcos representam, respectivamente, as condições climáticas mais extremas em termos de cargas térmicas, associadas à maior e a menor incidência de radiação solar ao longo do ano. Dessa forma, a análise nesses momentos críticos permite avaliar o comportamento térmico da edificação em situações limite, funcionando como indicador representativo do desempenho potencial do módulo ao longo do ciclo anual.

Para a seleção do módulo de melhor desempenho térmico, adotaram-se os seguintes critérios metodológicos:

- Análise das temperaturas operativas para os cenários críticos de verão e inverno (solstícios) de cada localidade estudada;
- Seleção dos módulos cujas temperaturas operativas se encaixam dentro dos limites nos períodos críticos;
- Comparação do comportamento térmico dos módulos selecionados ao longo do ano, visando identificar aquele com desempenho global mais favorável.

5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

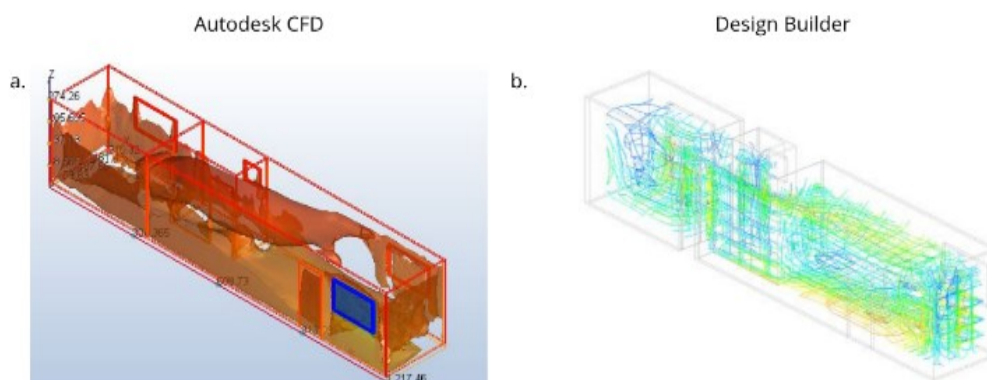
De acordo com as análises propostas na metodologia, são apresentados os resultados neste capítulo, iniciando pelas análises de CFD para definição da estratégia de ventilação natural.

5.1 Análises da ventilação natural

Para o estudo da ventilação natural, foram observados o comportamento dos ventos no interior do módulo para cada geometria proposta. O módulo referencial (MR) foi analisado a fim de estabelecer um princípio comparativo entre as alterações, desta maneira, todos os módulos seguintes foram comparados ao Módulo Referencial. As alterações quanto as aberturas visam intensificar os ventos no interior do módulo aplicando os princípios de ventilação cruzada, onde as aberturas alternadas (em faces opostas) buscam promover maior distribuição dos ventos pela diferença de pressão do ar provocada pela diferença de alturas de peitoris.

Para as análises é necessária uma interpretação prévia quanto ao tipo de resultado entregue por cada *software*. O resultado obtido no Design Builder permite observar por meio de vetores de diferentes cores a turbulência da ventilação, representando amplitude de velocidades que variam de 0 a 0,09 m/s. Os resultados provenientes do CFD Autodesk permitem uma análise mais completa, pois representa a turbulência por meio de camadas volumétricas de ar e apresenta a temperatura do ar que circula no interior do módulo representadas pelas cores da massa. A diferença gráfica dos resultados de cada *software* pode ser observada pela Figura 22.

Figura 22 – Comparativo de resultados obtidos entre os softwares.



Fonte: Autora.

Todas as análises foram realizadas nos dois *softwares* e comparadas para maior confiabilidade dos resultados e se apresentaram coerentes em relação a turbulência (velocidades dos ventos) e locais de influência. As imagens foram configuradas em transparência para ampliar a visão geral do contêiner e reduzir a sobreposição das camadas, desta maneira é possível observar o contorno da estrutura representado por linhas e as massas volumétricas que representam o fluxo e a temperatura do ar no interior do módulo. As aberturas destacadas em tons de azul representam as janelas configuradas como entrada de ar, e as janelas de saída são apresentadas somente com o contorno em linhas, visualizadas de maneira clara principalmente nas vistas da fachada posterior. As imagens resultantes representam o escoamento do ar e sua distribuição térmica no interior do módulo contêiner, e a vetorização do fluxo que nos permite analisar a turbulência. O fluxo de ar no interior do módulo foi modelado por meio do deslocamento das massas de ar, cuja visualização ocorre em diferentes colorações, correspondentes às variações de temperatura.

As análises foram realizadas com base nas quatro vistas de cada proposta: planta baixa (a), fachada frontal (b), fachada posterior (c) e perspectiva (d). Cada análise foi comparada em relação ao resultado do Módulo Referencial (MR), representado pelo Módulo 1.

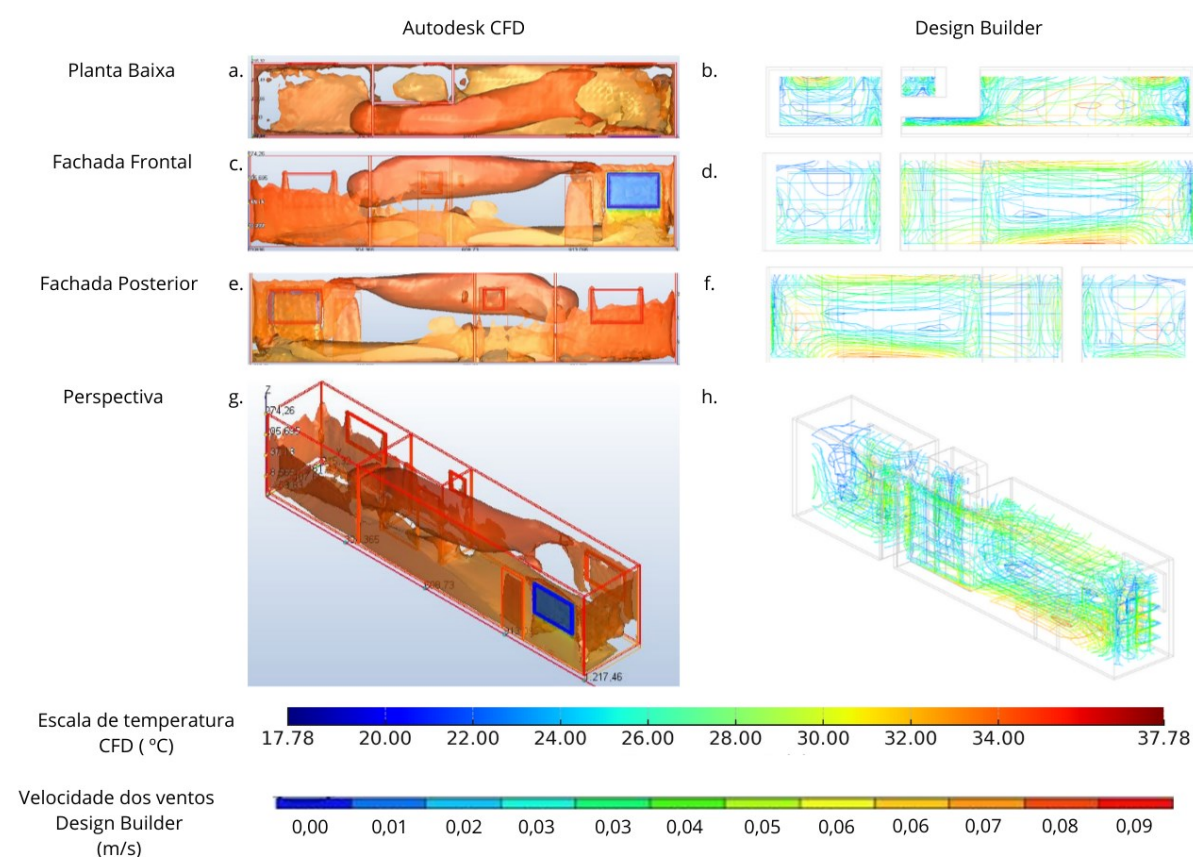
5.1.1 Módulo 1 – Módulo Referencial sem qualquer alteração.

Nas Figuras 23a e 23b, observa-se que, no ambiente integrado sala/cozinha, tanto os vetores de velocidade quanto a concentração de massas de ar se distribuem predominantemente nas proximidades das aberturas e da parede divisória com o banheiro. Nas regiões centrais desse ambiente (Figuras 23c, 23d, 23e e 23f), verifica-se que as massas de ar se concentram próximas ao piso e ao teto, evidenciando um fluxo de ventilação menos intenso na faixa intermediária. No corredor, conforme ilustrado nas Figuras 23b, 23c, 23g e 23h, identifica-se elevada densidade de vetores e massa, caracterizando um fluxo contínuo ao longo de toda sua extensão. Em relação ao dormitório, constata-se que as concentrações de fluxo e de massas de ar se localizam principalmente nas regiões próximas ao piso e às paredes (Figuras 23a, 23d e 23g), reduzindo conforme o aumento da altura até desaparecerem acima do nível do peitoril (Figura 23c). Tal comportamento indica que a circulação do ar ocorre majoritariamente abaixo de 1,10 m nesse ambiente. Para o banheiro, identifica-se padrão semelhante, com movimentação restrita às porções inferiores e às superfícies de contorno (Figuras 23a, 23b e 23e), sugerindo baixa renovação de ar na faixa superior do volume interno. As simulações realizadas no Autodesk CFD

também evidenciam que as camadas de ar com maior temperatura acumulam-se próximas ao teto, deslocando-se do espaço sala/cozinha em direção ao dormitório, ainda que com infiltração limitada neste último.

De forma geral, a análise integrada das figuras revela a formação de um escoamento de ar aquecido concentrado na porção superior do modelo, resultante do desequilíbrio na distribuição de ar. Essa configuração favorece o acúmulo de massas de ar nas regiões inferiores dos ambientes e a formação de zonas de baixa ventilação nas áreas centrais. Observa-se, adicionalmente, quanto a temperatura, que as massas apresentam variação de 34°C a 37°C.

Figura 23 – Ventilação Módulo 1.



Fonte: Autora.

5.1.2 Módulo 2 – Aumento do número de aberturas.

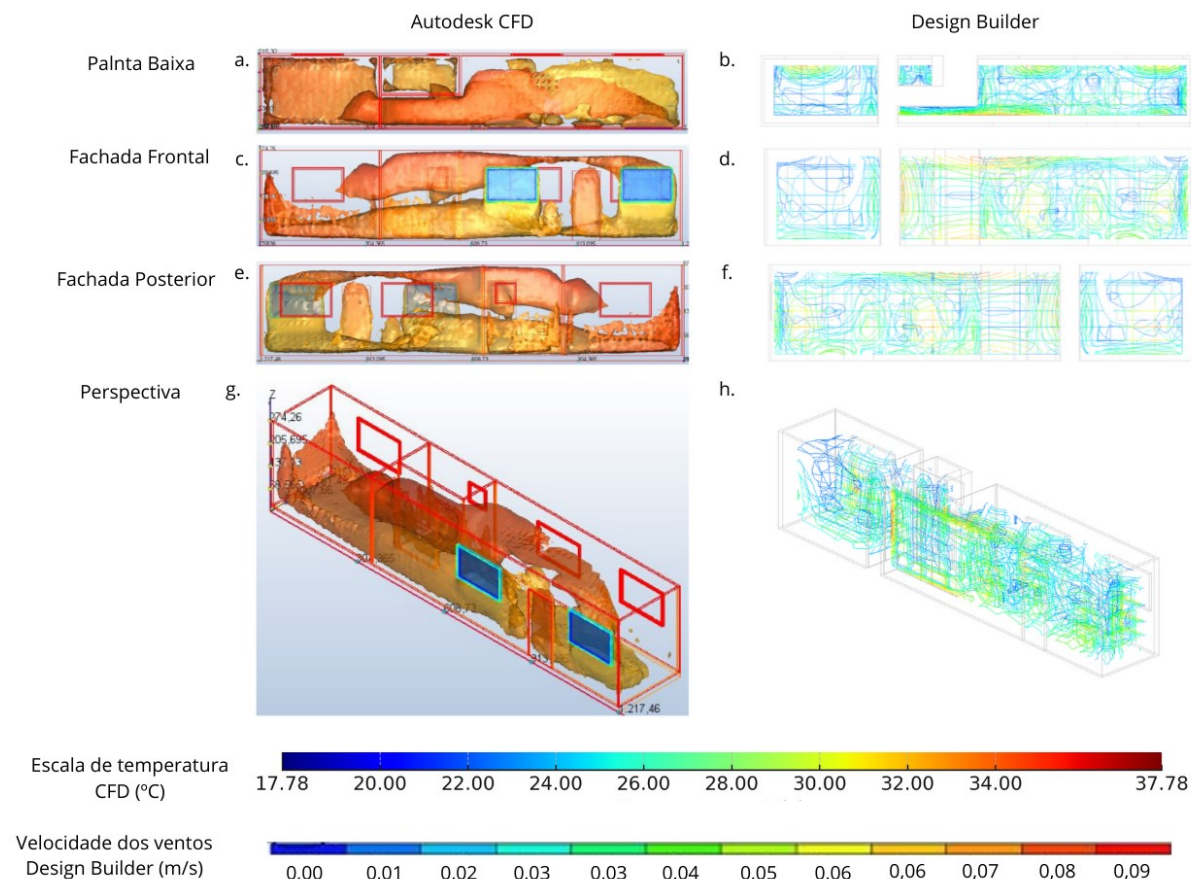
Para esta simulação, foram adicionadas duas janelas, posicionadas nas fachadas frontal e posterior, com o propósito de avaliar o impacto dessa intervenção na dinâmica da ventilação natural. Na Figura 24b, observa-se que, no ambiente integrado sala/cozinha, houve aumento de vetores de baixa velocidade na região central, em comparação ao módulo referencial. As mesmas

áreas são identificadas nas Figuras 24c e 24g, indicando zonas de baixa ventilação. O corredor, por sua vez, mantém os resultados semelhantes aos da simulação anterior, apresentando boa distribuição do fluxo de ar ao longo de toda sua extensão. Quanto ao banheiro, observa-se na Figura 24^a, que a massa de ar preenche quase todo o ambiente, concentrando-se, próxima ao piso, o que sugere baixo fluxo nas camadas superiores. No dormitório (Figuras 24c, 24d, 24e e 24f), observa-se que a circulação do ar permanece restrita às regiões abaixo do peitoril da janela, evidenciando que, mesmo com a introdução de novas aberturas, não houve alteração significativa da restrição vertical da ventilação.

Em relação ao comportamento térmico, verifica-se que as camadas de ar quente continuam acumuladas junto ao teto. Contudo, diferentemente do módulo referencial, identifica-se leve aumento da infiltração desse ar em direção ao dormitório. Além disso, nota-se camadas com coloração diferentes, a porção superior apresenta coloração mais intensa, associada a temperaturas próximas de 37°C, enquanto a camada inferior, de tonalidade amarelada, corresponde a temperaturas entre 32°C e 34°C. Portanto o ar mais aquecido permanece concentrado nas regiões superiores.

De forma geral, a análise do Módulo 2 indica que o aumento das aberturas nas fachadas frontal e posterior gerou alterações pontuais no comportamento do escoamento, sobretudo no ambiente sala/cozinha, onde se observou maior presença de vetores de baixa velocidade na região central. Embora tal redistribuição sugira uma leve ampliação das zonas ventiladas, não se identificou melhoria expressiva na ventilação vertical, uma vez que tanto no banheiro quanto no dormitório a movimentação do ar permaneceu concentrada nas porções inferiores, abaixo do nível dos peitoris.

Figura 24 – Ventilação Módulo 2.



Fonte: Autora.

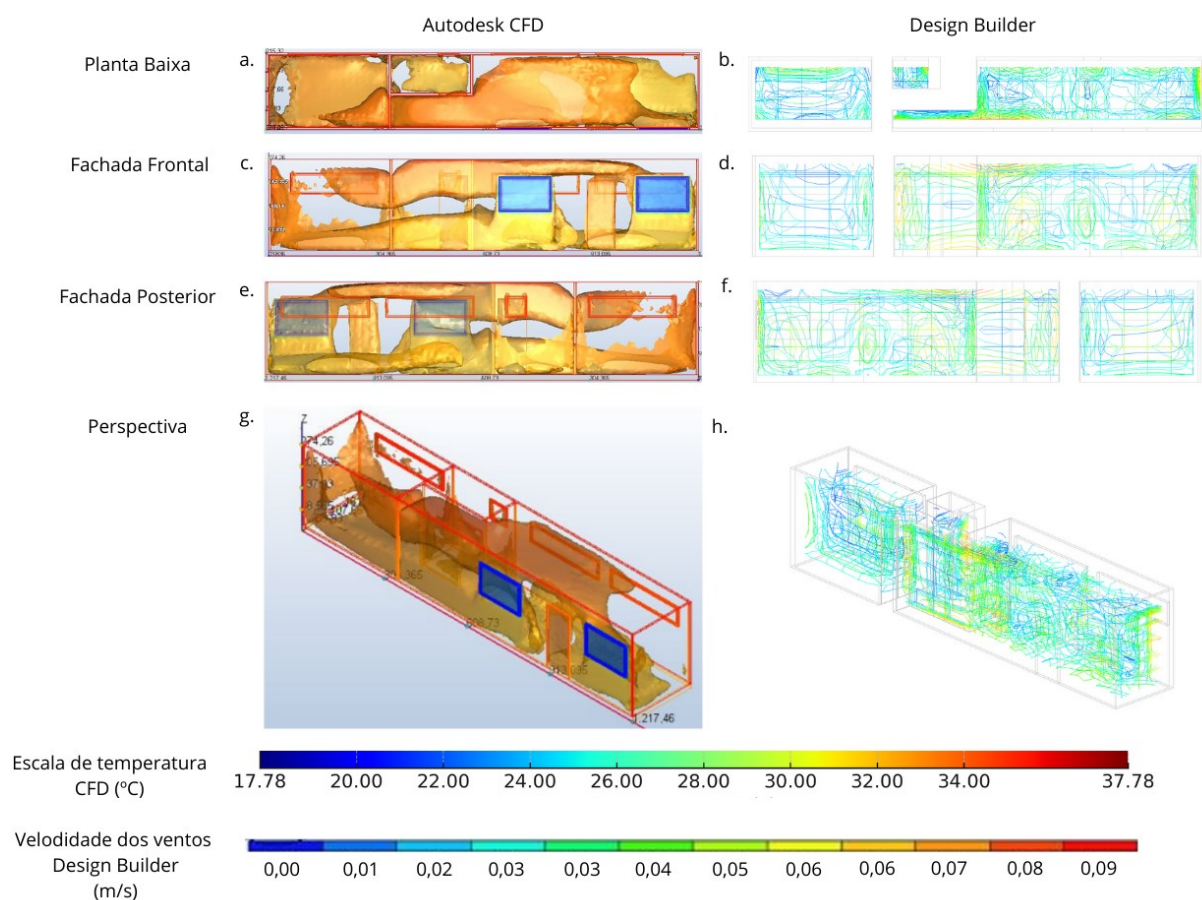
5.1.3 Módulo 3 – Módulo 2 com janelas altas na fachada posterior.

Para o Módulo 3, realizou-se a modificação da altura do peitoril das janelas da fachada posterior, configurando-as a 1,60 m a partir do piso. Como apresentado na Figura 25a, a massa de ar no ambiente sala/cozinha ocupa uma porção significativa do espaço; contudo, na extremidade superior direita desse ambiente, essa massa se concentra predominantemente nas regiões próximas ao piso (Figura 25e). Em relação ao corredor e ao banheiro, não foram identificadas mudanças significativas na distribuição das massas de ar e dos vetores de velocidade (Figuras 25a, 25b, 25c e 25f), uma vez que não houve alterações nas aberturas desses ambientes. No dormitório, por outro lado, verificou-se melhora na distribuição da camada de ar quanto à altura, que anteriormente apresentava forte predominância nas regiões próximas ao piso. Nas Figuras 25c, 25d, 25e, 25f, 25g e 25h, nota-se que a camada superior apresenta maior em comparação ao Módulo 1. Em relação à temperatura, constata-se que tanto a massa de ar superior quanto a inferior se apresentam em tonalidades amareladas mais claras, correspondendo a

temperaturas entre 32°C e 34°C, indicando redução da temperatura do ar que circula no interior do módulo.

De maneira geral, os resultados do Módulo 3 apontam para um desempenho mais equilibrado da ventilação natural em comparação aos módulos anteriores, especialmente no dormitório, onde a elevação do peitoril da janela favoreceu uma distribuição mais uniforme das massas de ar em altura. As modificações nas aberturas possibilitaram maior penetração da ventilação nas regiões superiores dos ambientes, contribuindo para a exaustão do ar aquecido. Além disso, as tonalidades mais claras nas massas de ar sugerem redução das temperaturas internas, indicando maior eficiência na dissipação do calor acumulado. Embora os ambientes do corredor e do banheiro não tenham apresentado mudanças significativas devido à manutenção de suas aberturas originais, o módulo como um todo demonstrou melhoria na qualidade do fluxo de ar.

Figura 25 – Ventilação Módulo 3.



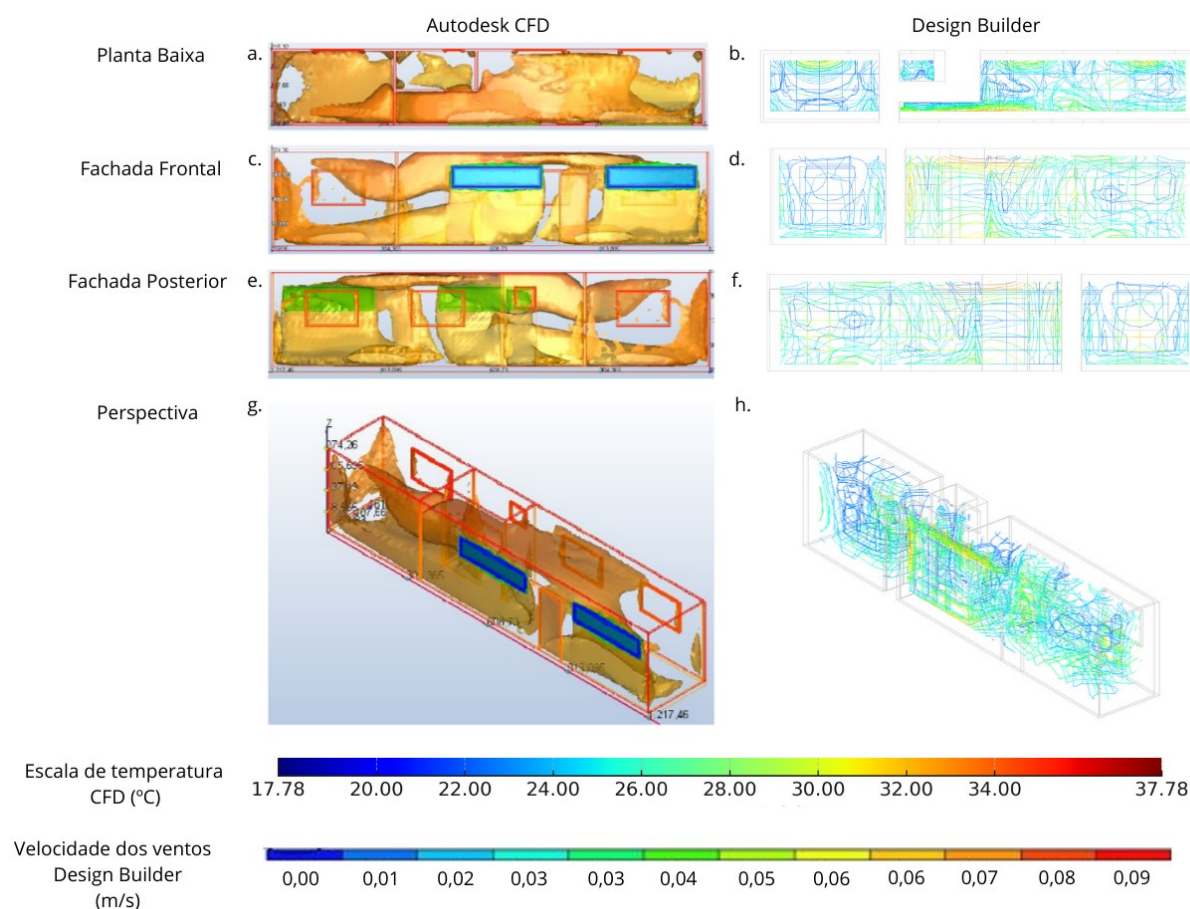
Fonte: Autora.

5.1.4 Módulo 4 – Módulo 2 com alteração do peitoril das janelas frontais.

Nesta configuração as janelas da fachada frontal foram reposicionadas, com peitoril elevado para 1,60 m. Conforme ilustrado nas Figuras 26 (26a, 26b e 26g), observa-se que, no ambiente integrado sala/cozinha, a ausência de ventilação no canto superior direito persiste em relação ao Módulo 1. Em contrapartida, as massas de ar apresentam distribuição mais homogênea, com aumento das áreas ventiladas. O corredor manteve-se sem alterações significativas na dinâmica do ar, apresentando comportamento semelhante ao verificado nas simulações anteriores. No banheiro, por sua vez, nota-se, nas Figuras 26a e 26b, redução tanto nos vetores quanto nas massas de ar. Para o dormitório, dormitório, as Figuras 26 (26c, 26d) nota-se que a camada de ar superior atingiu maior alcance quando comparada ao Módulo 1. Além disso, a massa próxima ao piso apresenta-se mais espessa e em coloração mais clara indicando movimentação do ar nessa região e mudança nas condições térmicas. Quanto à temperatura, observa-se que as massas de ar exibem tonalidades amareladas, correspondentes ao intervalo de 30°C a 32°C, representando redução da temperatura interna do ar para esse módulo.

O Módulo 4 apresentou melhorias significativas em relação ao Módulo 1, especialmente nos ambientes voltados para a fachada frontal, onde a elevação do peitoril para 1,60 m contribuiu para uma distribuição mais uniforme das massas de ar, reduzindo zonas de baixa movimentação, sobretudo no espaço sala/cozinha. O dormitório também apresentou avanços, com maior penetração da massa de ar na porção superior. O corredor não apresentou mudanças expressivas na disposição do fluxo, contudo, a infiltração das camadas de ar em direção ao banheiro foi reduzida. No aspecto térmico, observa-se clara diminuição da temperatura interna, reforçando o potencial do reposicionamento das aberturas como estratégia de aprimoramento da ventilação natural.

Figura 26 – Ventilação Módulo 4.



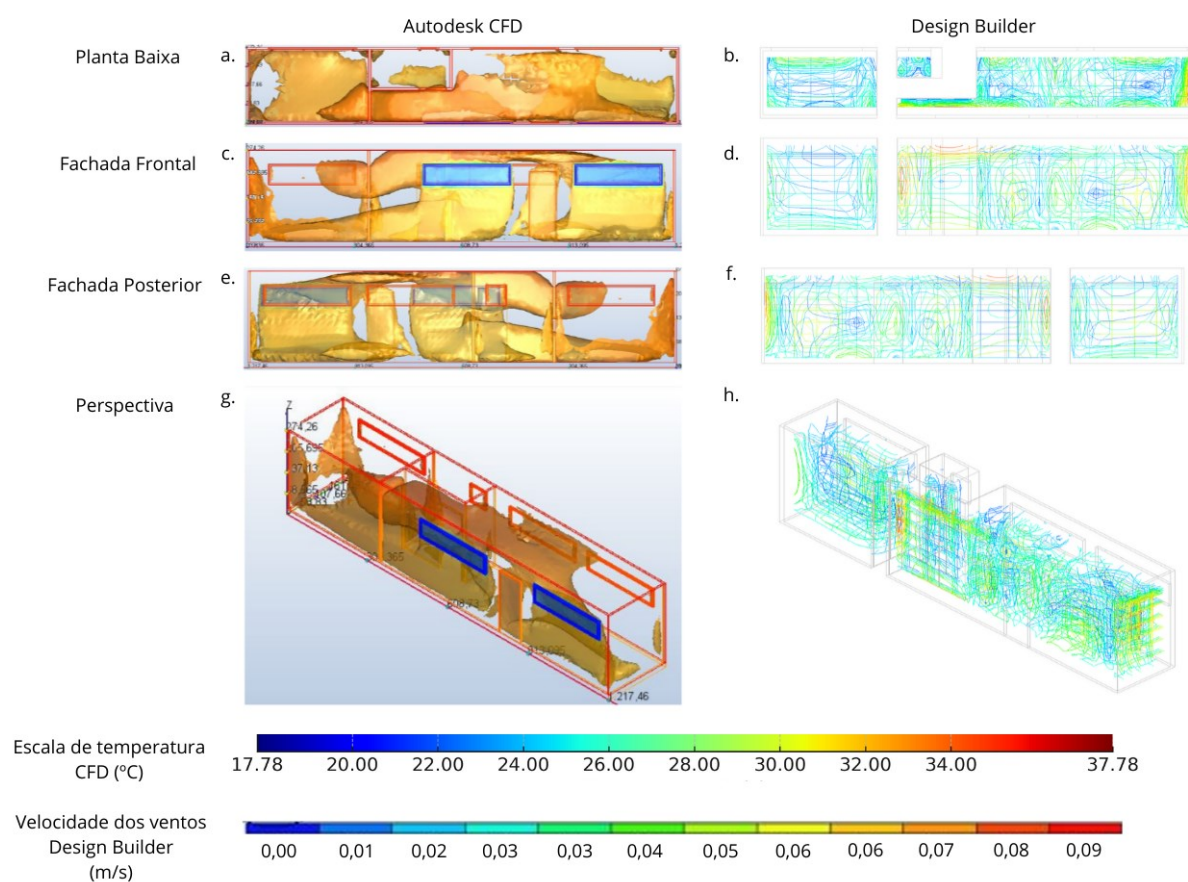
Fonte: Autora.

5.1.5 Módulo 5 – Módulo 2 com todas as janelas altas.

Para o Módulo 5, todas as janelas foram configuradas com peitoril de 1,60 m. Por meio das Figuras 27 (27a, 27g), observa-se uma melhoria na distribuição da ventilação no ambiente integrado sala/cozinha. A massa de ar que anteriormente se concentrava junto ao piso no Módulo 1 passa agora a se posicionar próxima ao teto e às paredes com aberturas, favorecendo a ventilação das regiões altas do espaço. Nota-se, ainda, um pequeno recuo na ventilação do banheiro, conforme ilustrado nas Figuras 27a e 27b. Para o dormitório, identifica-se ampliação significativa da área ventilada: a camada de ar inferior distribui-se de forma homogênea por todo o ambiente (Figuras 27a, 27b) e a massa de ar superior alcança maior extensão (Figuras 27a, 27c e 27g).

No que diz respeito à temperatura do ar, as massas apresentam valores variando entre 30°C e 34°C, comportamento semelhante ao observado nos Módulos 3 e 4. De maneira geral, a elevação do peitoril proposta neste módulo promoveu uma redistribuição das massas de ar nos ambientes, especialmente na sala/cozinha e no dormitório, onde as camadas de ar escoaram das áreas baixas e médias para a porção superior próxima ao teto.

Figura 27 – Ventilação Módulo 5.



Fonte: Autora.

5.1.6 Análise geral da ventilação

A estratégia de ventilação cruzada, propõe uma melhoria na ventilação interna de um ambiente por meio do fluxo de ar entre as aberturas de entrada e saída de ar localizadas em zonas opostas da edificação (RODRIGUES, 2008). Por meio das simulações realizadas podemos observar como o fluxo de ar se comporta a partir das configurações de peitoril utilizadas. Desta maneira, podemos avaliar o impacto do aumento do número de aberturas e a variação do peitoril na ventilação.

O Módulo 1, no qual todas as janelas são configuradas com peitoril de 1,10m, observa-se que o ar se distribui principalmente nas camadas baixas de piso, formando apenas uma bolsa de ar quente em uma pequena porção do espaço, devido à ausência de saídas de exaustão. Com o aumento do número de aberturas analisadas no Módulo 2, percebe-se uma redução das zonas não ventiladas, porém o acúmulo de ar quente na porção superior permanece. O aumento do número de aberturas contribui significativamente para que a ventilação tenha um alcance maior. Deste modo, mantendo um maior número de aberturas, o teste do Módulo 3, com a alteração do peitoril para 1,60m das janelas de saída de ar localizadas na fachada posterior, contribuiu para uma melhor exaustão do ar quente acumulado na parte superior. Esta alteração promoveu uma melhoria na distribuição do fluxo de ar, ventilando além das áreas próximas ao piso, as zonas de altura média e alta, promovendo além disso uma significativa redução na temperatura do ar interno. A alteração proposta no Módulo 4, com o peitoril das janelas de entrada da fachada frontal para 1,60m e as janelas de saída da fachada posterior com peitoril de 1,10m, resultou em um fluxo de ar com maior alcance em profundidade, porém com exaustão posterior limitada. E a proposta de alteração no peitoril de todas as janelas para 1,60m, representada pelo Módulo 5, trouxe uma redução na temperatura das camadas de ar, porém uma redução das zonas ventiladas.

Desta maneira, verifica-se que para potencializar a ventilação natural do contêiner é necessário o aumento do número de aberturas e a diferença entre o peitoril de janelas de entrada e saída de ar favorecendo a diferença de pressão, tais modificações foram propostas no Módulo 3, sendo este o que apresentou melhor desempenho em ventilação natural.

5.2 Sombreamento

A análise solar foi conduzida com base nas cartas de sombreamento e complementada por cálculos geométricos de profundidade de beiral para diferentes períodos do ano. As cartas apresentadas permitem a identificação das faixas de temperatura predominantes para cada localidade fornecidas pelo Climate Consultant 6.0.

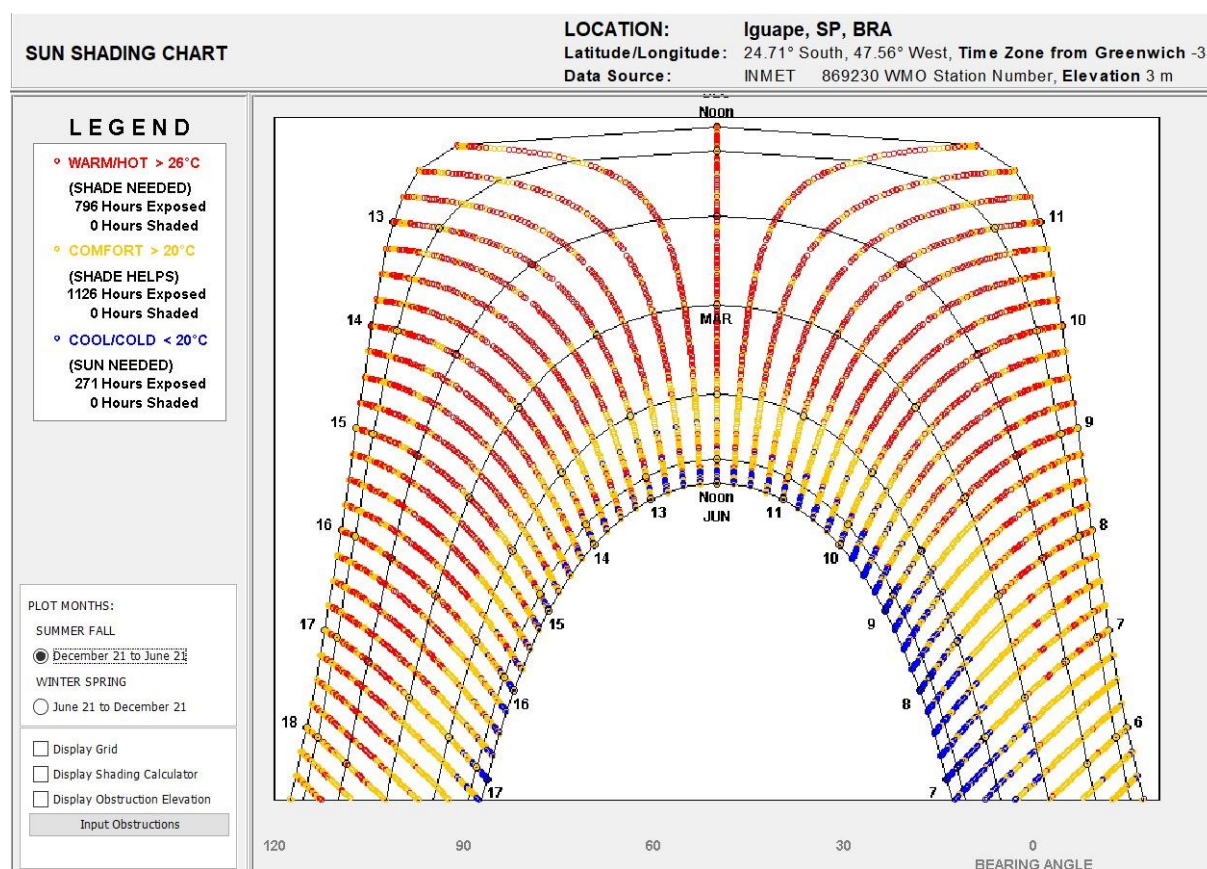
5.2.1 Santos

A carta de sombreamento de Santos foi elaborada a partir do arquivo bioclimático no formato.epw correspondente à localidade. A partir da análise, foram identificados os horários e temperaturas críticas de insolação característicos da região.

Verifica-se, por meio da análise da Figura 28, que, em março, os horários de maior aquecimento ocorrem entre 10h e 16h, com a fachada Norte apresentando as condições mais

críticas, enquanto as fachadas Leste e Oeste contribuem, respectivamente, durante os períodos da manhã e da tarde. Para o mês de junho, observa-se a necessidade de sombreamento entre 12h e 15h, intervalo em que a incidência solar se intensifica sobre a fachada Oeste. Neste mesmo período, a fachada Norte torna-se favorável ao aproveitamento do ganho solar ao meio-dia, uma vez que as temperaturas médias permanecem inferiores a 20 °C.

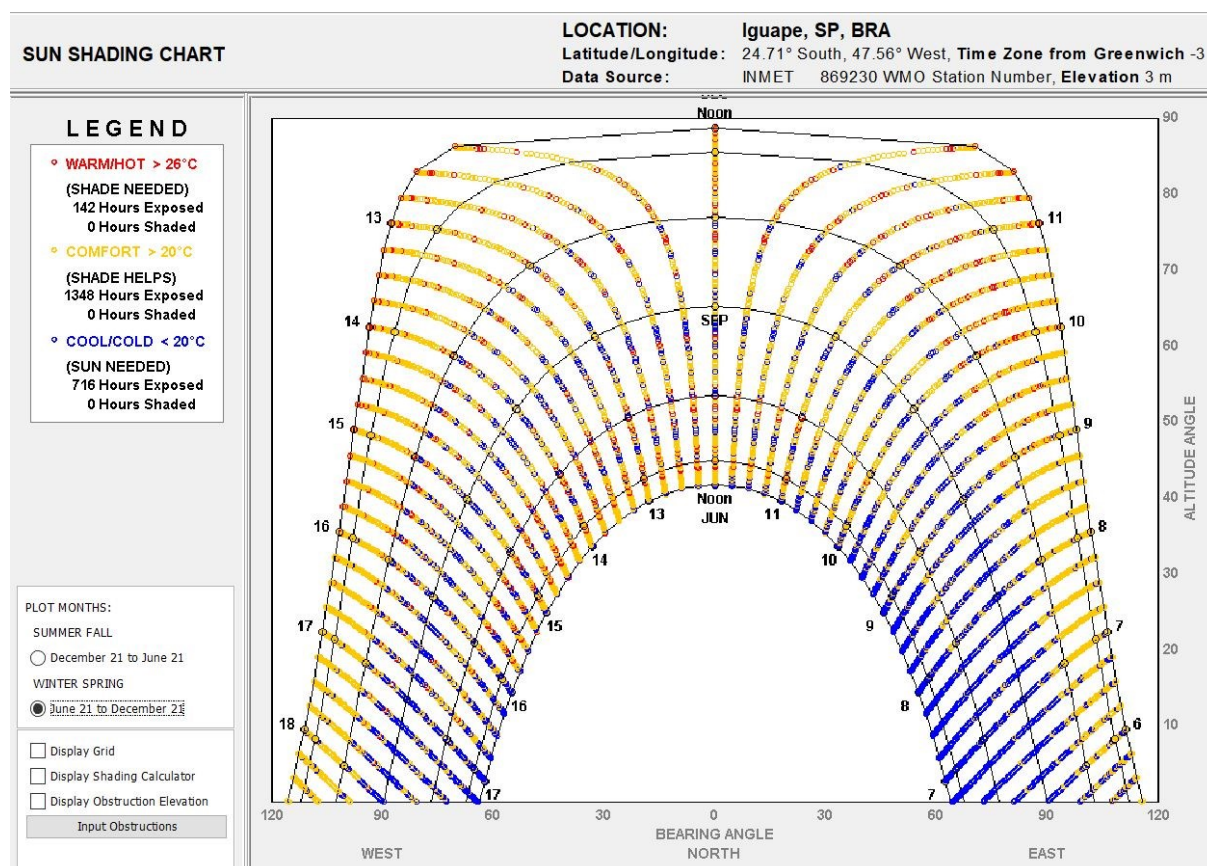
Figura 28 – Carta de sombreamento de Santos (dezembro a junho).



Fonte: Climate Consultant 6.0.

Em setembro (Figura 29), as temperaturas mais elevadas têm início por volta das 10h e se estendem até as 16h, incidindo predominantemente sobre a fachada Norte, com influência adicional da fachada Oeste no final da tarde. Durante o mês de dezembro, os horários críticos ocorrem entre 9h e 17h, apresentando temperaturas superiores a 26°C, com destaque para a fachada Norte e contribuição da fachada Oeste nos períodos vespertinos.

Figura 29 - Carta de sombreamento de Santos (junho a dezembro).



Fonte: Climate Consultant 6.0.

Além da identificação dos horários e temperaturas críticas, foram analisados os ângulos de incidência solar para os dias de solstícios (21/06/2024 e 21/12/2024) e equinócios (21/03/2024 e 22/09/2024) com o objetivo de verificar a eficácia dos dispositivos de sombreamento horizontal. Observou-se que esse tipo de proteção é mais eficiente para ângulos solares elevados; entretanto, em horários com incidência rasante (próximos à horizontal) torna-se necessária a adoção de elementos verticais complementares para assegurar a efetividade do sombreamento, no entanto, esses elementos verticais não foram analisados neste estudo. A Tabela 13 apresenta os resultados de profundidade do beiral para os horários de maior ganho solar de acordo com o ângulo de incidência, calculado a partir da Equação 1.

Tabela 13 – Cálculo da profundidade mínima de beiral para Santos.

SANTOS			
Horário	Ângulo Solar (α)	Tangente de α	Profundidade do Beiral (m)
21 de março (equinócio)			
10:00	50,33	1,21	1,24
11:00	60,22	1,75	0,86
12:00	65,01	2,15	0,70
13:00	62,15	1,89	0,79
14:00	53,23	1,34	1,12
15:00	41,55	0,89	1,69
16:00	28,7	0,55	2,74
21 de junho (solstício)			
12:00	41,85	0,90	1,67
13:00	39,8	0,83	1,80
14:00	33,94	0,67	2,23
15:00	25,28	0,47	3,18
22 de setembro (equinócio)			
10:00	53,26	1,34	1,12
11:00	62,15	1,89	0,79
12:00	65,04	2,15	0,70
13:00	60,14	1,74	0,86
14:00	50,23	1,20	1,25
15:00	38,14	0,79	1,91
16:00	25,11	0,47	3,20
21 de dezembro (solstício)			
09:00	49,49	1,17	1,28
10:00	62,94	1,96	0,77
11:00	76,55	4,18	0,36
12:00	88,72	44,75	0,03
13:00	75,95	4,00	0,38
14:00	62,33	1,91	0,79
15:00	48,78	1,14	1,31
16:00	35,37	0,71	2,11
17:00	22,18	0,41	3,68

Fonte: Autora.

A análise da carta de sombreamento, em conjunto com os valores de altitude solar, evidencia que as maiores demandas de profundidade de beiral ocorrem nos períodos de menor elevação do sol. Em 21 de março (equinócio), observa-se um aumento significativo da profundidade do beiral após 15h, atingindo aproximadamente 2,74 m às 16h. No solstício de inverno (21 de junho), os valores tornam-se ainda mais expressivos no final da tarde, chegando

a 2,23 m às 15h e 3,18 m às 16h. Trata-se de uma estação que apresenta incidência solar de baixos ângulos, sendo necessário a associação de estratégias de sombreamento vertical para o bloqueio da incidência solar. No equinócio de setembro, a profundidade calculada a partir das 15h torna-se elevada, atingindo 3,20 as 16h. Em contraste, no solstício de verão (21 de dezembro), as profundidades são mínimas no período próximo ao meio-dia, aumentando de forma moderada no final da tarde, após as 15h atingindo 3,68m as 17h.

Complementarmente, verificou-se que, entre setembro e dezembro, as temperaturas médias superam os 27°C, principalmente entre 10h e 16h, configurando o intervalo crítico de maior insolação sobre o módulo pela fachada norte. Nesse período, a posição quase zenital do sol ao meio-dia requer profundidade mínima de sombreamento, enquanto no final da tarde a demanda cresce progressivamente pela fachada oeste.

Com base nos cálculos geométricos, tornou-se necessário avaliar os ganhos térmicos associados a diferentes profundidades de beiral. Foram analisadas profundidades de 1,50 m, 2,0 m e 2,5 m, com o objetivo de verificar se o aumento do beiral resultaria em redução significativa das temperaturas internas. Os dados foram analisados considerando os dias de solstícios e equinócios, focando nos horários críticos de maior incidência solar. A Tabela 14 apresenta os resultados obtidos nesta análise.

Tabela 14 - Ganhos térmicos quanto ao sombreamento para Santos.

Horário	Temperatura (°C)		
	Beiral 1,5m	Beiral 2,0 m	Beiral 2,5m
21 de março (equinócio)			
10:00	25,65	25,61	25,59
11:00	28,58	28,5	28,48
12:00	25,91	25,93	25,91
13:00	24,17	24,21	24,2
14:00	23,79	23,82	23,82
15:00	24,62	24,63	24,63
16:00	24,53	24,55	24,54
Média	25,32	25,32	25,31
21 de junho (solstício)			
10:00	20,03	19,97	19,96
11:00	24,69	24,56	24,54
12:00	27,3	27,14	27,11
13:00	28,06	27,9	27,87
14:00	28,9	28,75	28,73
15:00	26,6	26,59	26,58
16:00	24,9	24,89	24,88
Média	25,78	25,68	25,67

Tabela 14 – Continuação.

Horário	Temperatura (°C)		
	Beiral 1,5m	Beiral 2,0 m	Beiral 2,5m
12:00	34,11	33,84	33,83
13:00	37,28	36,93	36,93
14:00	38,6	38,35	38,34
15:00	28,86	28,8	28,8
Média	34,71	34,48	34,48
21 de dezembro (solstício)			
10:00	32,76	32,6	32,58
11:00	36,95	36,73	36,71
12:00	38,03	37,81	37,78
13:00	42,02	41,68	41,66
14:00	30,76	30,67	30,67
15:00	28,21	28,18	28,18
16:00	27,51	27,45	27,43
17:00	26,34	26,31	26,29
Média	32,82	32,68	32,66

Fonte: Autora.

A análise das temperaturas médias indica que o maior ganho térmico ocorre durante o solstício de dezembro, período que coincide com as temperaturas ambientes mais elevadas. Nesse dia, observou-se uma redução de até 0,16°C ao comparar as coberturas com profundidades de 1,5 m e 2,5 m. Embora as fachadas sombreadas por beirais de 2,5 m tenham apresentado desempenho térmico ligeiramente superior, verificou-se que o aumento da profundidade do beiral não contribui de forma significativa para a redução dos ganhos térmicos, devido à baixa incidência solar no período da tarde. Diante disso, torna-se necessária a associação de dispositivos de sombreamento vertical para complementar a proteção solar. Optou-se, portanto, pela adoção da profundidade mínima de 1,5 m, por esta atender satisfatoriamente à maior parte dos horários críticos analisados e, simultaneamente, favorecer as condições de iluminação e ventilação natural dos ambientes.

5.2.2 Los Angeles

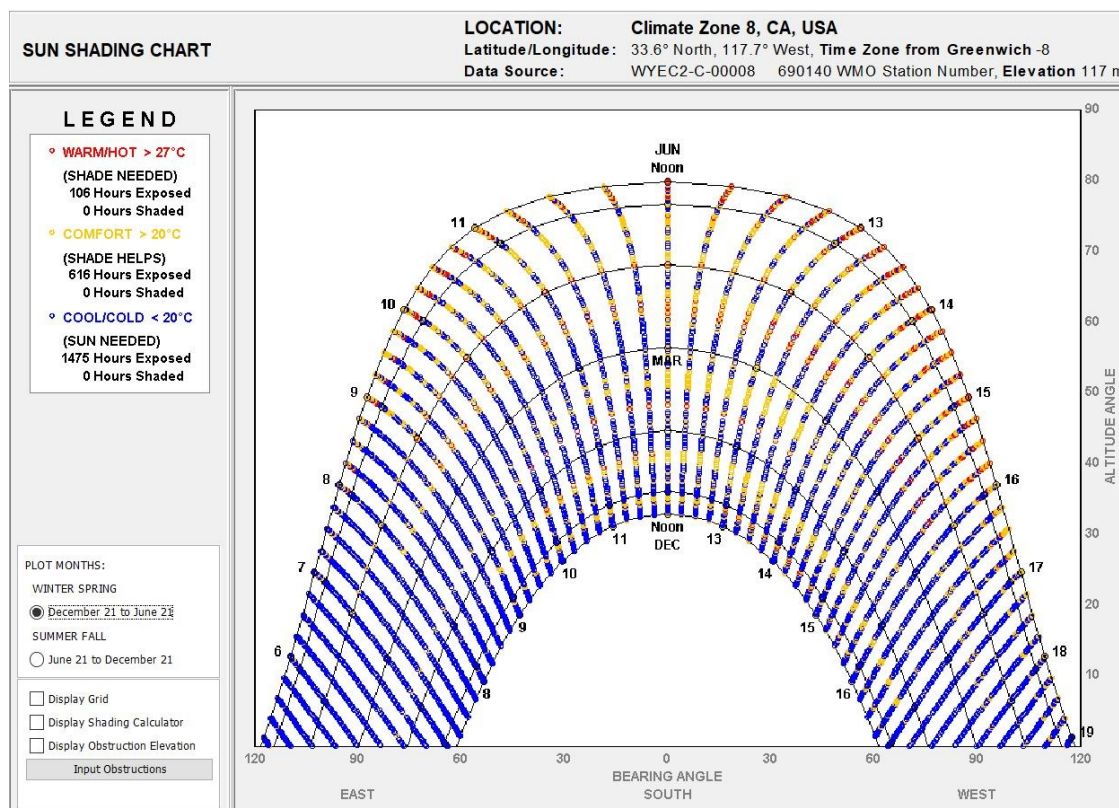
As cartas de sombreamento apresentadas para a cidade de Los Angeles permitem observar o comportamento da radiação ao longo do ano, considerando os períodos compreendidos entre

dezembro e junho (inverno e primavera) e junho a dezembro (verão e outono). A cidade localiza-se em uma região caracterizada por verões com elevada incidência solar e invernos amenos.

Entre os meses de dezembro e março, observa-se que a trajetória solar incide predominantemente sobre as fachadas Norte e Leste nas primeiras horas do dia, e sobre a fachada Oeste no final da tarde. Em março, identifica-se um curto período de incidência solar, entre 11h e 14h, durante o qual as temperaturas ultrapassam 20°C (Figura 33). Nessa estação, contudo, as temperaturas médias permanecem abaixo de 27°C, o que torna o ganho solar direto desejável, especialmente nas fachadas voltadas para o Norte, favorecendo o aquecimento passivo dos ambientes.

No período compreendido entre março e junho, verifica-se um aumento gradual das temperaturas ao longo do dia. O período de junho caracteriza-se pela ocorrência de horários críticos de incidência solar entre 9h e 16h, com temperaturas superiores a 27°C. Nesse intervalo, as fachadas Oeste e Norte destacam-se como as mais críticas, devido à elevada insolação observada no período da tarde (Figura 30).

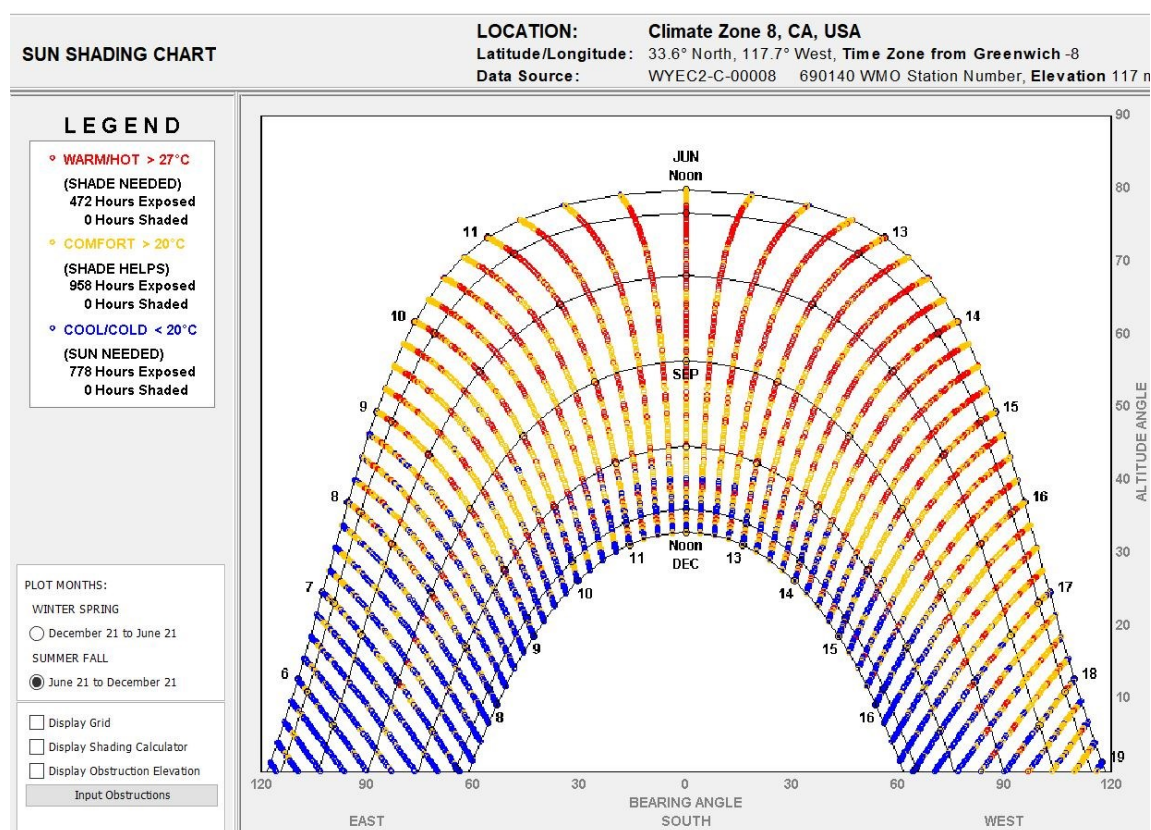
Figura 30 - Carta de sombreamento de Los Angeles (dezembro a junho).



Fonte: Climate Consultant 6.0.

Em setembro, as temperaturas elevadas persistem, com destaque para o intervalo entre 09h e 16h, quando a radiação incide diretamente sobre as fachadas Oeste e Noroeste. Por fim, durante o solstício de dezembro, as temperaturas médias se mantêm abaixo de 20°C, e o ganho solar passa a ser benéfico, sobretudo nas fachadas Norte, entre 11h e 14h, onde a radiação direta contribui positivamente para o desempenho térmico da edificação (Figura 31).

Figura 31 - Carta de sombreamento de Los Angeles (junho a dezembro).



Fonte: Climate Consultant 6.0.

A Tabela 15 apresenta o cálculo da profundidade mínima de beiral baseado na Equação 1, para os períodos e horários obtidos a partir das cartas solares e avaliados para os dias de solstícios e equinócios.

Tabela 15 - Cálculo da profundidade mínima de beiral para Los Angeles.

LOS ANGELES			
Horário	Ângulo Solar (α)	Tangente de α	Profundidade do Beiral (m)
21 de março (equinócio)			
11:00	52,63	1,31	1,15
12:00	56,14	1,49	1,01
13:00	54,05	1,38	1,09
14:00	47,19	1,08	1,39
20 de junho (solstício)			
09:00	49,17	1,16	1,30
10:00	61,49	1,84	0,81
11:00	72,94	3,26	0,46
12:00	79,51	5,40	0,28
13:00	73,47	3,37	0,45
14:00	62,11	1,89	0,79
15:00	49,81	1,18	1,27
16:00	37,38	0,76	1,96
22 de setembro (equinócio)			
09:00	37,73	0,77	1,94
10:00	47,54	1,09	1,37
11:00	54,46	1,40	1,07
12:00	56,57	1,51	0,99
13:00	53,03	1,33	1,13
14:00	45,17	1,01	1,49
15:00	34,86	0,70	2,15
16:00	23,28	0,43	3,49
21 de dezembro (solstício)			
11:00	30,96	0,60	2,50
12:00	32,60	0,64	2,35
13:00	30,75	0,60	2,52
14:00	25,71	0,48	3,11

Fonte: Autora.

A maioria das profundidades calculadas apresenta valores inferiores a 2,50 m, com exceção do dia 22 de setembro às 16h e do dia 21 de dezembro nos horários de 13h e 14h. No equinócio de setembro, às 16h, a incidência solar ocorre sob ângulo fortemente horizontal, condição na qual os dispositivos de sombreamento horizontal apresentam menor eficiência. No solstício de dezembro, por sua vez, embora o ângulo solar seja reduzido, as temperaturas médias permanecem próximas a 20°C, o que reduz a necessidade de sombreamento adicional. Dessa forma, a profundidade de 2,50 m foi definida como a solução mais adequada para a estratégia de

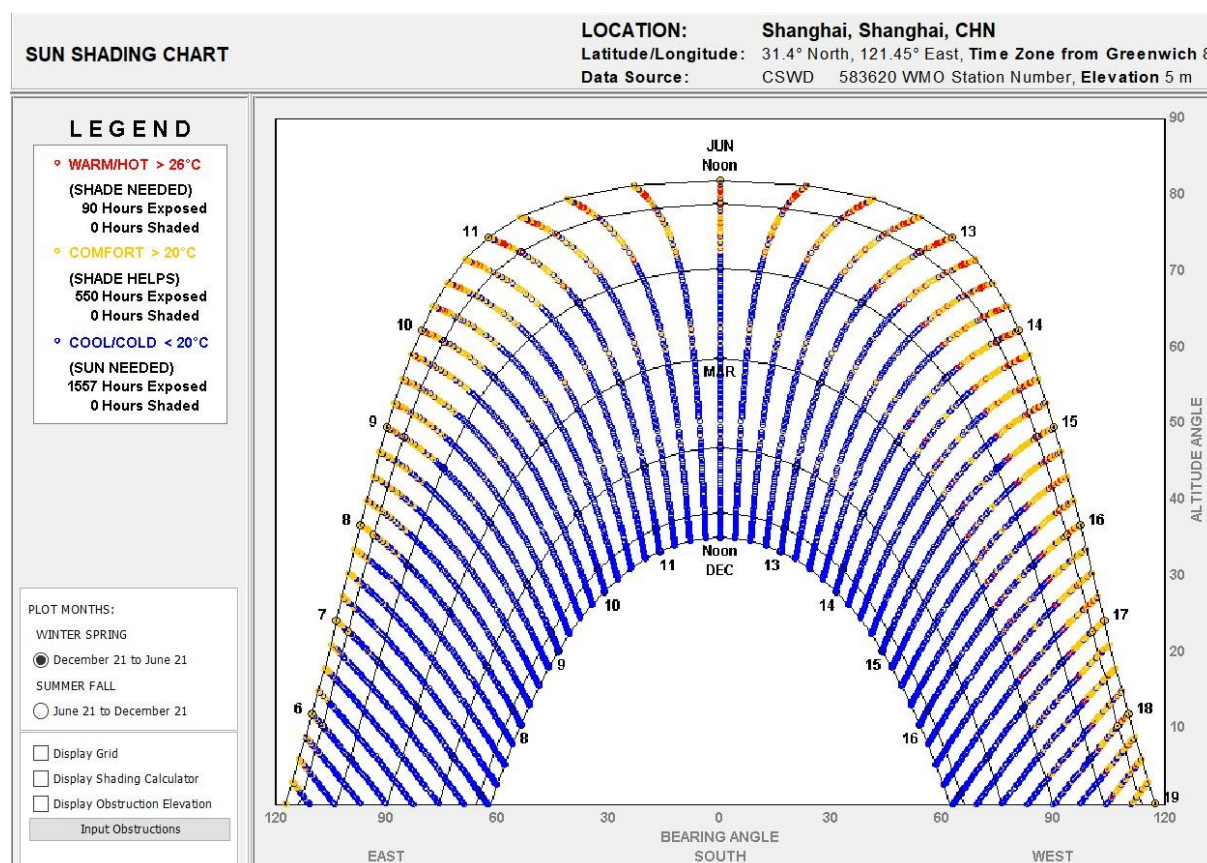
sombreamento na localidade de Los Angeles, por atender de maneira satisfatória às condições críticas de insolação observadas ao longo do ano.

5.2.3 Shanghai

A análise das cartas de sombreamento elaboradas para a cidade de Shanghai, permitiu identificar os períodos de maior incidência de radiação solar direta e, consequentemente, os horários de maior criticidade térmica ao longo do ano. A partir da observação das trajetórias solares correspondentes aos solstícios e equinócios, foi possível determinar as fachadas mais expostas à radiação direta e relacioná-las com as faixas de temperatura predominantes.

No mês de março, as temperaturas apresentam-se ao longo do dia abaixo de 20°C, desta maneira para este período torna-se dispensável as estratégias de sombreamento, uma vez que a incidência solar é desejável para a contribuição do aquecimento interno. Observa-se que em junho as temperaturas adquirem valores consideráveis acima de 26°C, o período compreendido entre 10 e 15 horas, é marcado por altas temperaturas principalmente pelas fachadas norte e oeste (Figura 32).

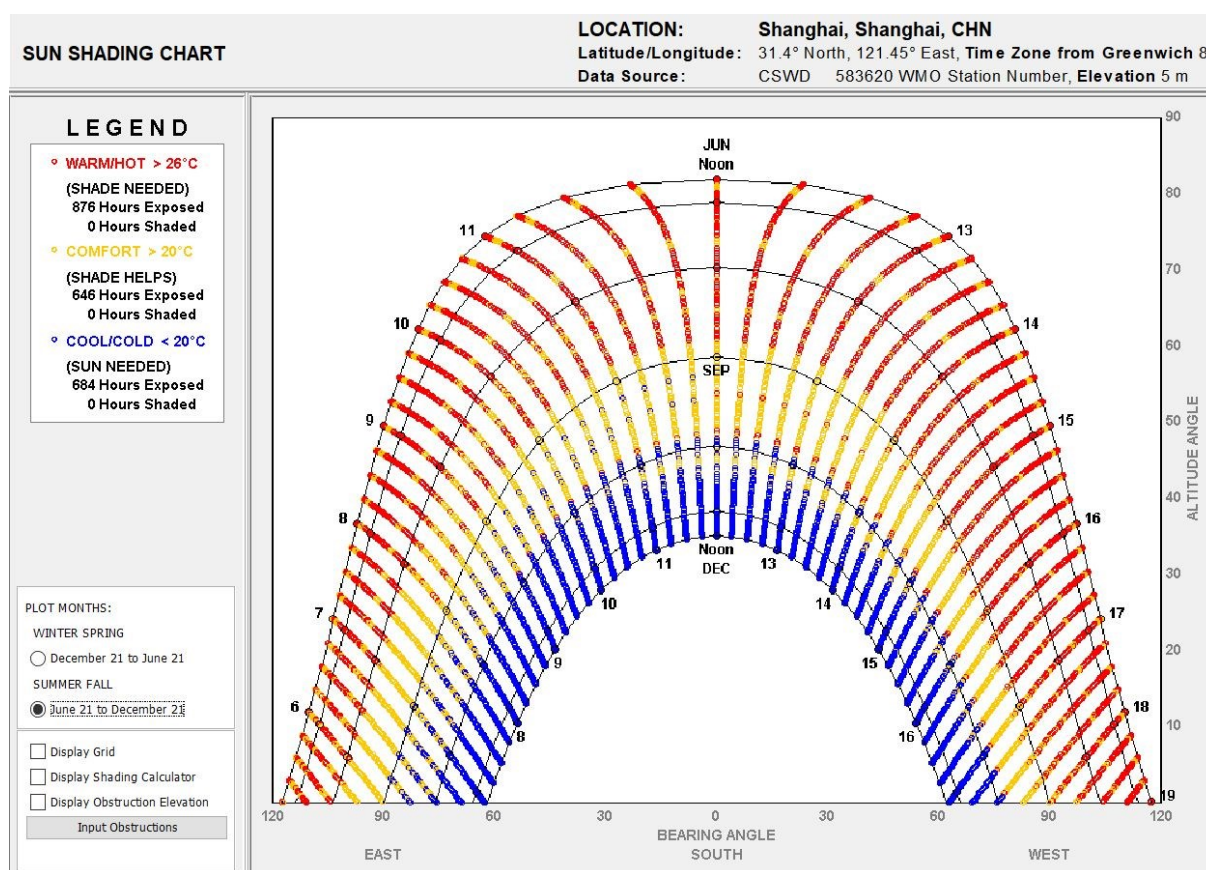
Figura 32 - Carta de sombreamento de Shanghai (dezembro a junho).



Fonte: Climate Consultant 6.0.

O período compreendido entre junho e setembro configura-se como o mais crítico, uma vez que as temperaturas elevadas, superiores a 26°C, ocorrem principalmente entre 9h e 18h, incidindo sobre as fachadas Leste, Oeste e Norte. Em setembro, a insolação mantém-se distribuída entre essas três orientações; contudo, a incidência mais crítica ocorre no período vespertino, quando as temperaturas ultrapassam 26°C e a radiação solar incide predominantemente sobre a fachada Oeste (Figura 33). Em dezembro a trajetória solar é mais baixa, concentrando-se sobre a fachada sul ao longo do dia, além disso as temperaturas predominantes estão abaixo de 20°C, indicando ganho solar desejável. Desta maneira, neste período não há demanda de sombreamento.

Figura 33 - Carta de sombreamento de Shanghai (junho a dezembro).



Fonte: Climate Consultant 6.0.

A análise dos ângulos solares nos horários críticos, para os dias de solstícios e equinócios, permite avaliar a eficácia da estratégia de sombreamento horizontal. A Tabela 16 apresenta o

cálculo de profundidade do beiral horizontal, com base na Equação 1, a partir dos períodos críticos identificados nas cartas de sombreamento.

Tabela 16 - Cálculo da profundidade mínima de beiral para Shanghai.

SHANGHAI			
Horário	Ângulo Solar (α)	Tangente de α	Profundidade do Beiral (m)
21 de março (equinócio)			
Não há necessidade de sombreamento			
21 de junho (solstício)			
10:00	62,02	1,88	0,80
11:00	74,32	3,56	0,42
12:00	82,27	7,36	0,20
13:00	74,91	3,71	0,40
14:00	62,67	1,94	0,78
15:00	49,88	1,19	1,26
22 de setembro (equinócio)			
14:00	47,31	1,08	1,38
15:00	36,39	0,74	2,04
16:00	24,31	0,45	3,32
17:00	11,70	0,21	7,25
21 de dezembro (solstício)			
Não há necessidade de sombreamento			

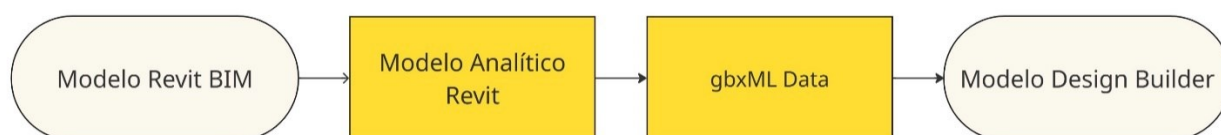
Fonte: Autora.

A análise das cartas de sombreamento evidência que os períodos de dezembro a março são marcados por baixas temperaturas, descartando há necessidade de sombreamento para redução de ganho térmico nestes meses. No período entre junho e setembro, a fachada Norte principalmente apresenta alta exposição solar com contribuição da fachada oeste ao longo da tarde. No solstício de junho, os ângulos solares variam entre 49° e 82°, resultando em um beiral de até 1,26 m de profundidade para atingir o sombreamento desejado. Embora o mês de setembro apresente alta exposição solar de acordo com a carta, a incidência solar ocorre de forma mais horizontal, com ângulos solares baixos pela fachada norte, resultando em beirais de profundidades entre 1,38 e 7,25 metros. Ao entardecer após as 15 horas a alta incidência ocorre principalmente pela fachada oeste não sombreada. Assim, definiu-se a profundidade mínima de 1,5 m para o beiral horizontal, de modo a garantir o sombreamento da fachada voltada para a orientação Norte nesta localidade, atendendo de forma adequada aos horários e períodos críticos de incidência solar identificados para esta orientação.

5.3 Transferência de dados BIM/BES

O processo de transferência de dados entre o modelo BIM desenvolvido no Revit e o *software* Design Builder apresenta limitações e adaptações necessárias. Embora o Revit possua uma estrutura de dados inteligente capaz de representar detalhadamente os elementos arquitetônicos, ele não contempla de forma nativa os dados volumétricos e zonais exigidos por ferramentas de simulação de desempenho térmico e energético. Para viabilizar essas análises é necessário sobrepor ao modelo arquitetônico um conjunto adicional de informações, que compõem o Modelo Analítico. O Modelo Analítico é uma representação de elementos que descrevem a geometria térmica e os limites físicos das zonas a serem analisadas. Sua elaboração envolve a definição de volumes fechados que representam os espaços internos condicionados ou não, e a caracterização das superfícies que delimitam essas zonas, como paredes, pisos, coberturas, esquadrias e elementos de sombreamento. Além da geometria, esse modelo inclui as propriedades térmicas dos materiais, condições de contorno, dados de ocupação, cargas internas e modelo de ventilação ou climatização. Esse modelo constitui a base para os cálculos e simulações realizadas posteriormente. Na Figura 34 apresenta-se uma representação da transferência de dados entre os ambientes BIM/BES.

Figura 34 – Transferência de dados BIM/BES



Fonte: Autora.

O Design Builder oferece um tutorial de preparação para o modelo analítico produzido no Revit, destacando métodos disponíveis para interação entre os ambientes, e para que a transferência de dados ocorra de maneira correta, porém, no próprio tutorial é destacado que a transferência é realizada de forma parcial, corroborando com Vaz et al. (2024), Alonso, Dols e Mathinsen (2021), Oliveira et al. (2020), ao enfatizar que a integração BIM-BES ainda enfrenta desafios que podem comprometer a transferência de dados completos. Para que os resultados das simulações sejam confiáveis é necessário que todos os parâmetros de análise previamente configurados sejam conferidos após a importação do arquivo no Design Builder, a fim de que as

limitações provenientes da transferência de dados sejam corrigidas. Na Tabela 17 expõe-se os resultados da transferência de dados BIM/BES.

Tabela 17 – Transferência de dados BIM/BES.

Critérios	Itens	Transferência
Localização	Latitude / Longitude	Não
Geometria	Paredes	Sim
	Piso	Sim
	Cobertura	Sim
	Esquadrias	Parcial
Composição dos espaços	Zonas	Sim
	Espaços	Não
Componentes das paredes, piso e cobertura	Espessura	Sim
	Condutividade térmica	Sim
	Calor específico	Não
	Densidade	Não
	Resistência Térmica	Sim
Cargas Internas	Cargas de Iluminação	Não
	Cargas de Potência	Não
Sistema HVAC	Tipo de Sistema	Não
	Potência do sistema	Não

Fonte: Autora.

Embora sejam exportados elementos como geometria de superfícies, zonas, materiais, espessuras, e algumas características térmicas, há um conjunto de informações que não é incluído na transferência, como ocupação, cargas e iluminação, localização e sistema de ventilação. Isso significa que o modelo importado exige ajustes manuais adicionais para complementar os dados ausentes antes das análises.

5.4 Parâmetros de análise de desempenho térmico

O parâmetro de desempenho térmico para a análise dos módulos baseou-se na ASRHAE 55 (2020) que apresenta as faixas de temperaturas operativas aceitáveis para edificações ventiladas naturalmente. Baseado nos resultados das simulações de cada localidade foram extraídas as médias mensais de temperatura do ar e calculados os limites de temperatura. A simulação local de Santos por meio do arquivo bioclimático disponibilizado pelo ProjetEEE e simulado com o Desing Builder, resultou no cálculo direto das temperaturas médias mensais, os quais foram inseridos na Equação 2 e 3 para obtenção dos limites de temperaturas apresentados na Tabela 18.

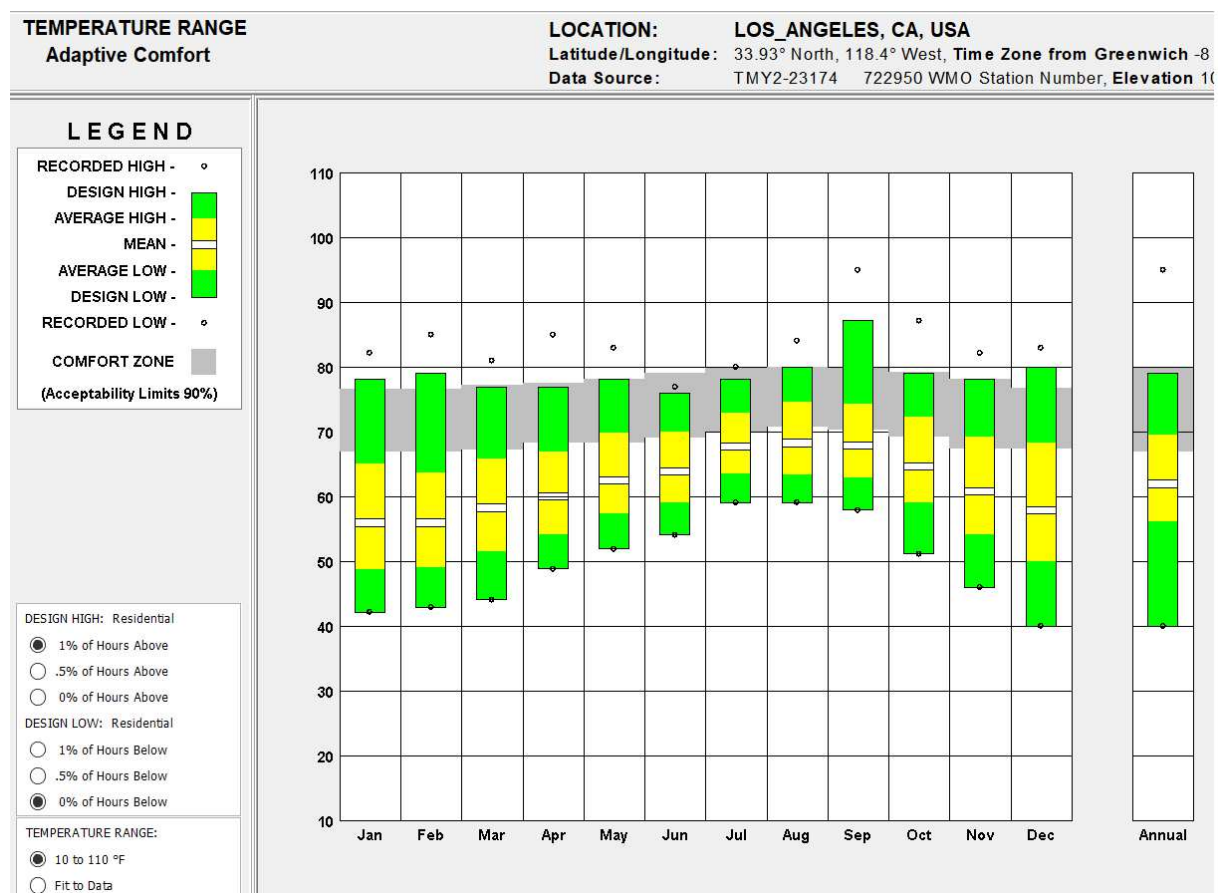
Tabela 18 - Limites de temperaturas operativas para Santos (BR).

Mês	Temp. média do ar (°C)	Limite Inferior	Limite Superior
Janeiro	25,11	22,08	29,08
Fevereiro	25,83	22,31	29,31
Março	25,53	22,21	29,21
Abril	23,20	21,49	28,49
Maio	20,90	20,78	27,78
Junho	17,91	19,85	26,85
Julho	18,79	20,12	27,12
Agosto	19,89	20,46	27,46
Setembro	20,48	20,65	27,65
Outubro	22,53	21,28	28,28
Novembro	23,47	21,57	28,57
Dezembro	24,06	21,76	27,76

Fonte: Autora.

Para as localidades de Los Angeles e Shanghai, as simulações realizadas no DesignBuilder não forneceram diretamente as temperaturas médias mensais necessárias para a aplicação dos critérios normativos. Dessa forma, esses valores foram obtidos por meio do Climate Consultant 6.0, a partir da análise dos gráficos de temperatura produzidos pelo *software*. Com base nesses gráficos, determinou-se a temperatura média mensal de cada localidade e, posteriormente, calculados os limites inferior e superior de aceitabilidade térmica conforme estabelecidos pelas Equações 2 e 3. Na Figuras 35 e na Tabela 19 apresentam-se os resultados das médias de temperatura do ar e dos parâmetros de limites para Los Angeles.

Figura 35 - Temperaturas médias mensais de Los Angeles.



Fonte: Climate Consultant 6.0.

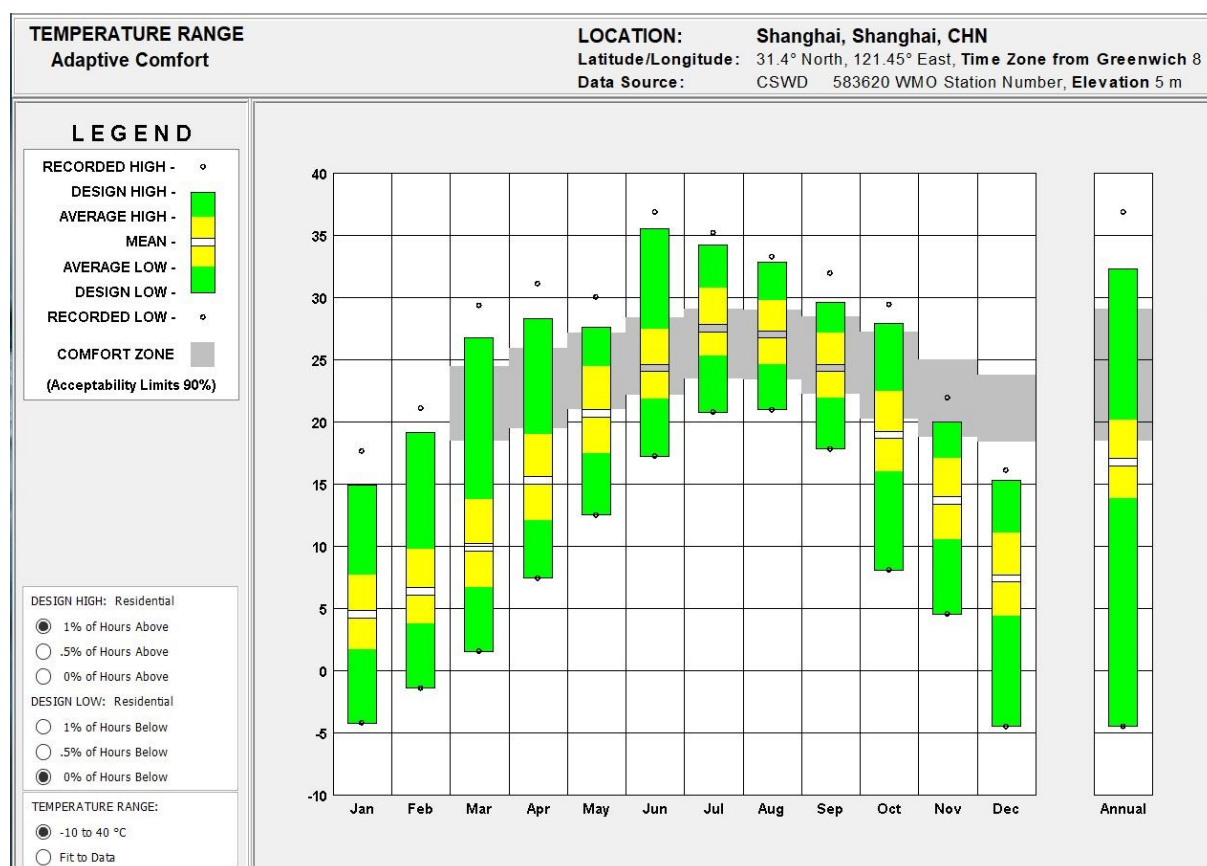
Tabela 19 - Limites de temperaturas operativas para Los Angeles (USA).

Mês	Temperatura Média do ar (°C)	Limite Inferior	Limite Superior
Janeiro	14,4	18,76	25,76
Fevereiro	15	18,95	25,95
Março	15,6	19,14	26,14
Abril	17,2	19,63	26,63
Maio	18,9	20,16	27,16
Junho	21,1	20,84	27,84
Julho	23,3	21,52	28,52
Agosto	23,9	21,71	28,71
Setembro	23,3	21,52	28,52
Outubro	21,1	20,84	27,84
Novembro	17,2	19,63	26,63
Dezembro	14,4	18,76	25,76

Fonte: Autora.

Os dados de temperaturas médias mensais que foram aplicados nas equações 2 e 3, para Shanghai estão apresentados na Figura 36 e os limites de temperaturas operacionais são apresentados na Tabela 20.

Figura 36 - Temperaturas médias mensais de Shanghai.



Fonte: Climate Consultant 6.0.

Tabela 20 – Limites de temperaturas operativas para Shanghai (CHI).

Mês	Temperatura Média do Ar (°C)	Limite Inferior	Limite Superior
Janeiro	6,00	16,16	23,16
Fevereiro	8,00	16,78	23,78
Março	12,00	18,02	25,02
Abril	17,00	19,57	26,57
Mai	22,00	21,12	28,12
Junho	26,00	22,36	29,36
Julho	29,00	22,36	29,36
Agosto	28,00	22,98	29,98
Setembro	25,00	22,05	29,05
Outubro	19,00	20,19	27,19
Novembro	13,00	18,33	25,33
Dezembro	7,00	16,47	23,47

Fonte: Autora.

A determinação dos limites de temperatura possibilitou a avaliação quantitativa do desempenho térmico para cada localidade, identificando se o módulo se mantém dentro ou fora da faixa de aceitabilidade térmica. Desta forma, é possível analisar as medidas de projeto para as condições locais, e consequentemente, mensurar a eficácia das estratégias bioclimáticas empregadas.

5.5 Análise de desempenho térmico

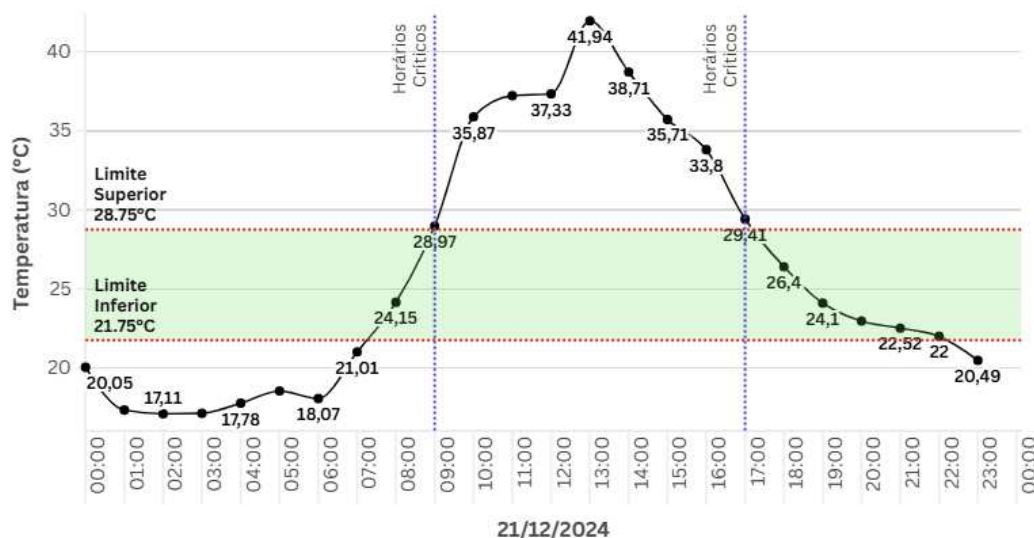
A seguinte seção apresenta a análise de desempenho térmico dos módulos simulados, em dois cenários, solstícios de verão e inverno. Inicialmente, o módulo referencial é examinado individualmente em cada localidade, de modo a estabelecer uma linha base para comparação com as estratégias bioclimáticas propostas. Em seguida, são selecionados os módulos que apresentam as temperaturas operativas dentro dos limites estabelecidos, especialmente durante os horários críticos previamente determinados pelo estudo de insolação, por serem os períodos de maior risco de superaquecimento. Posteriormente, realiza-se um comparativo entre esses módulos de melhor desempenho, destacando quantitativamente a redução dos ganhos térmicos alcançada por cada solução. Por fim, procede-se a avaliação anual desses módulos, considerando o total de horas que permanecem dentro da faixa de temperatura operativa recomendada para cada mês, de modo a compreender sua eficiência térmica ao longo do ano.

5.5.1 Santos

5.5.1.1 O módulo referencial

O Módulo Referencial (MR) baseado no estudo de Da Costa et. al (2023) possui envoltória composta por 2,6mm de aço corten, 50mm de lã mineral e 18mm de drywall, a fim de reduzir a carga térmica interna do módulo. A avaliação do comportamento térmico do módulo MR ao longo do dia 21/12/2024 (solstício de verão), evidencia uma variação significativa de temperatura operativa ao longo das 24 horas, influenciada principalmente pela elevada carga térmica associada à trajetória solar característica da região nesse período do ano. Esses resultados podem ser visualizados na Figura 37.

Figura 37 – Comportamento térmico do módulo MR para solstício de verão.

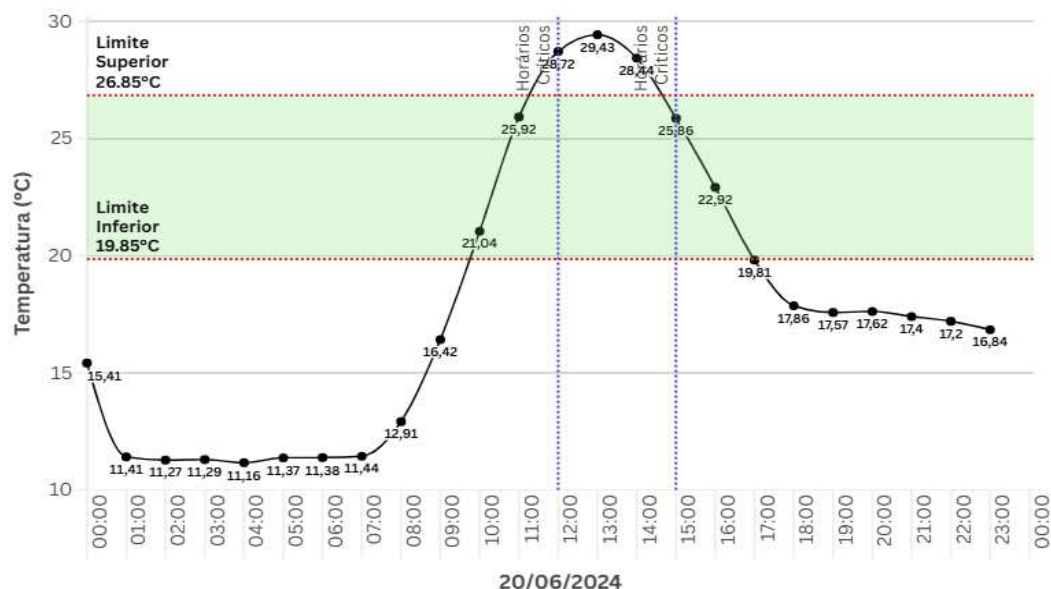


Fonte: Autora.

Observa-se que durante as horas noturnas e iniciais da manhã, o módulo permanece predominantemente abaixo do limite inferior estabelecido, com temperaturas variando entre 18,07°C e 22°C, comportamento que confirma a capacidade do sistema de isolamento presente na envoltória em retardar as trocas térmicas. À medida que a incidência solar é intensificada, especialmente a partir das 06 horas, observa-se aumento acentuado da temperatura operativa interna, que se enquadra dentro dos limites até às 09h, horário em que atinge 28,97°C. A partir deste horário o módulo ultrapassa significativamente o limite superior atingindo a temperatura máxima de 41,94°C às 13h, o que representa amplitude térmica de 13,19°C acima do limite máximo admissível. Das 13h em diante é possível observar uma redução da temperatura até às 17h, demarcando o fim do período crítico de insolação, alcançando a temperatura de 29,41°C. A permanência prolongada do módulo acima da faixa de limite das temperaturas evidência não apenas a limitação da envoltória, mas também a baixa inércia térmica do sistema construtivo, que responde rapidamente às variações de radiação externa. Entre 17h e 22h a temperatura operativa se enquadra nos limites propostos pelas normativas e após as 22h abaixo do limite inferior. Os resultados obtidos para o módulo MR demonstram que sob condições típicas de verão e na ausência de estratégias passivas adicionais, o contêiner isolado apresenta desempenho térmico insatisfatório nos horários de maior carga térmica, com temperaturas elevadas em relação aos limites operativos.

Na Figura 38, apresentam-se os resultados da análise do módulo MR para o dia 20/06/2024 (solstício de inverno).

Figura 38 - Comportamento térmico do módulo C1 para solstício de inverno.



Fonte: Autora.

A análise do módulo MR no solstício de inverno demonstra comportamento térmico substancialmente distinto do observado no período verão, sobretudo pela redução do período crítico de incidência solar e consequentemente menor risco de superaquecimento. Ao longo das 24 horas analisadas, a temperatura operativa permanece predominantemente abaixo da faixa de limite superior. No entanto, entre 00h e 07h, observam-se temperaturas abaixo do limite inferior, variando entre 11,16°C e 15,41°C, o que indica que em condições mínimas de incidência solar, o sistema construtivo apresenta limitada capacidade de retenção térmica, coerente com a baixa inércia térmica do sistema de isolamento. Contudo a partir das 08h, o módulo passa a aquecer progressivamente adentrando na faixa ideal de temperatura as 10 horas com 21,04°C mantendo-se nesta faixa até às 12h, coincidindo com o início do período crítico de incidência solar. No período crítico entre 12h e 15h, observa-se que as temperaturas se encontram acima do limite superior, atingindo o pico de 29,43°C às 13h, temperatura esta que ultrapassa o limite superior em 2,58°C, amplitude que representa a maior discrepância registrada ao longo do dia. Após o período crítico, entre 15h e 17h as temperaturas se encaixam novamente dentro dos limites operativos e após as 17h ficam abaixo do limite inferior variando de 16,84°C a 19,81°C. A curva térmica demonstra, portanto, resultado mais favorável no inverno, com ultrapassagens pontuais

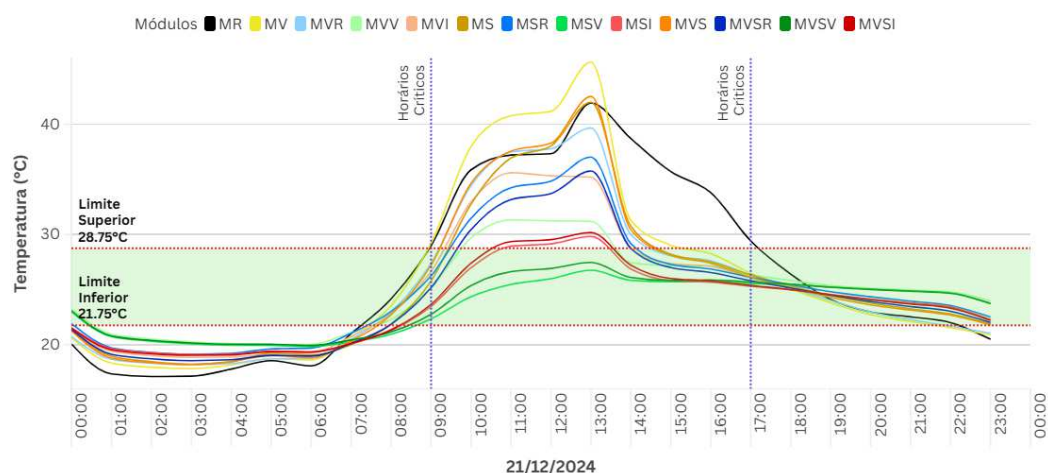
do limite superior e predominância de temperaturas dentro da faixa recomendada. Trazer a questão das baixas temperaturas, que são fáceis de resolver com uso de roupas e agasalhos, reduzindo a transferência de calor entre o corpo e o ambiente e ainda assim, as oscilações ao longo do dia são prejudiciais ao uso humano (DE LA HOZ-TORRES *et al.*, 2023).

Nos dois cenários analisados, observa-se que nos horários críticos de incidência solar, a temperatura operativa do módulo fica acima do limite superior desejável. No verão essa temperatura ultrapassa em até 13,19°C, reforçando a hipótese de que o isolamento aplicado somente na envoltória é insuficiente para conter os elevados ganhos solares característicos do verão, apontando a necessidade de incluir estratégias complementares para garantir desempenho satisfatório. No inverno, apesar de o período crítico de insolação ser reduzido, as temperaturas operativas permanecem acima do limite superior recomendado, ultrapassando-o em 2,58°C, evidenciando que a envoltória metálica do contêiner é susceptível ao ganho térmico associado a radiação direta, ainda que em menor intensidade se comparada ao verão, reafirmando a característica típica do aço corten devido à alta condutividade térmica.

5.5.1.2 Análise geral

Esta etapa contempla a análise térmica de todos os módulos simulados para esta localidade nos cenários de solstício de verão e inverno afim de destacar os módulos de melhor desempenho térmico. Na Figura 39 apresenta-se o comportamento térmico de todos os módulos propostos simulados para Santos no dia 21/12/2024 (solstício de verão).

Figura 39 - Comportamento térmico de todos os módulos no solstício de verão em Santos.

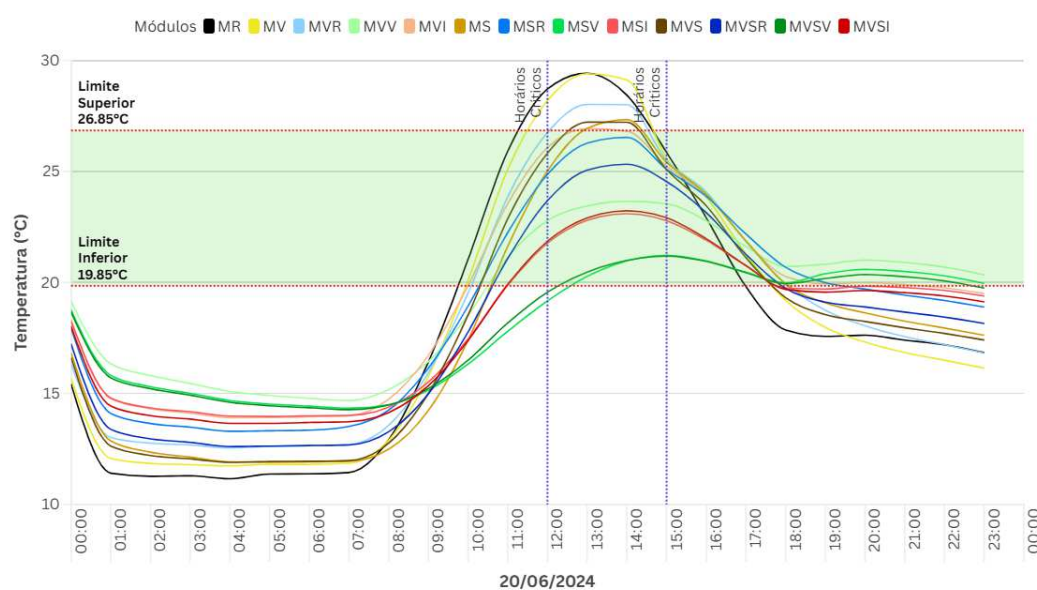


Fonte: Autora.

A análise global visualizada na Figura 39, evidencia um comportamento térmico fortemente condicionado a elevação progressiva da temperatura de acordo com o aumento da incidência solar ao longo do dia. Nas primeiras horas da madrugada e manhã (período das 00h às 06h) a maior parte dos módulos possui temperatura abaixo de 21,75°C, sendo este o limite inferior. A partir das 06h todas as temperaturas analisadas aumentam até entrarem na zona de limite aceitável, o que ocorre entre 07 e 08 horas. No período crítico, entre 09h e 17h, a diferença entre o desempenho dos módulos torna-se evidente, refletindo a influência das diferentes estratégias bioclimáticas que compõe os módulos. Dentre os modelos analisados, destacam-se três módulos com as menores temperaturas operativas durante o período crítico: MSV e MVSV.

Na Figura 40, apresenta-se os resultados de comportamento térmico para todos os módulos simulados, no cenário de inverno representado pelo dia 20/06/2024 (solstício de inverno).

Figura 40 - Comportamento térmico do de todos os módulos no solstício de inverno em Santos.



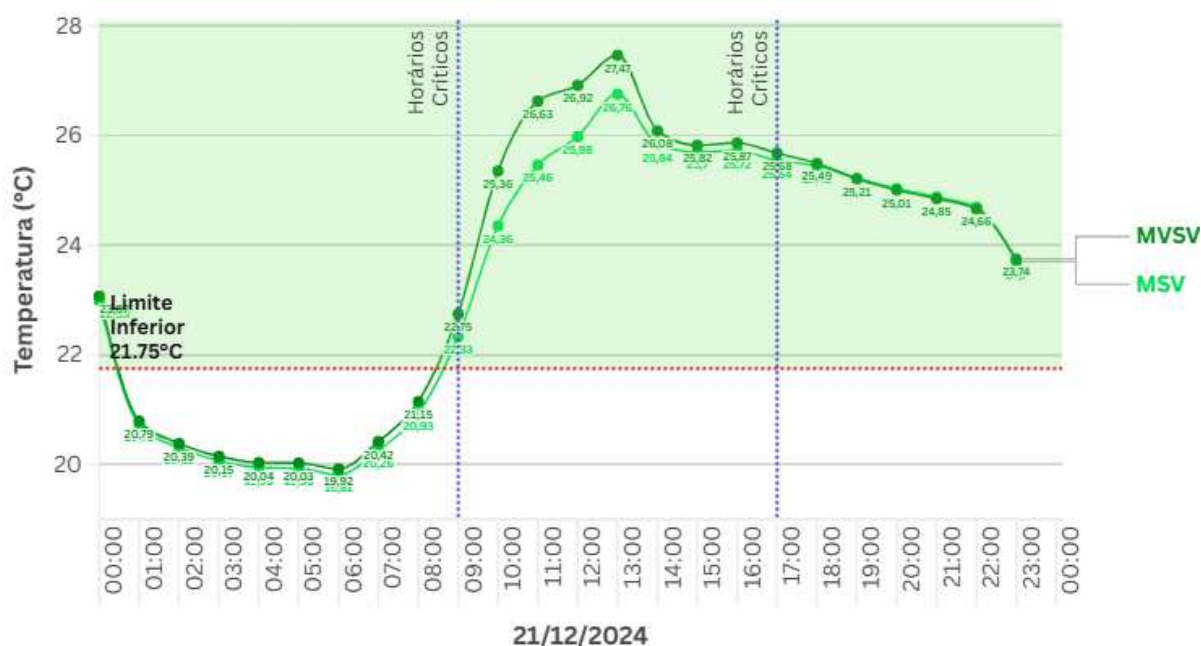
Fonte: Autora.

A variação horária da temperatura operativa dos módulos para o dia 20/06/2024 (solstício de inverno) é caracterizada por temperaturas mais baixas durante a madrugada e um gradiente de aquecimento mais lento ao longo da manhã. Entre 00h e 08h, observa-se que todos os módulos apresentam temperaturas significativamente inferiores ao limite inferior, o que representa baixo risco de superaquecimento, e reforça o foco da análise sobre as horas de maior exposição solar. A partir das 09h, inicia-se a elevação gradual da temperatura, até às 10h onde a maioria dos módulos adentram nos limites de análise. No período de maior exposição solar, demarcado entre

12h e 14h, observa-se que os módulos MR, MV, MVR, MS e MVS, se apresentam com temperaturas acima do limite superior (26,85°C) o que indica que estes módulos, apesar de apresentarem soluções parciais de isolamento ou modificações na envoltória, são insuficientes para controlar adequadamente os ganhos térmicos no período de maior carga solar. Os demais módulos apresentam comportamentos distintos, mas não ultrapassam os limites estabelecidos. Os módulos MSV e MVSV se destacam por apresentarem maior número de horas (das 12h às 23h) de permanência dentro do intervalo de limites no cenário de inverno. Desta maneira, para a análise de determinação do melhor desempenho, serão analisados os módulos MSV e MVSV que se destacaram tanto para o cenário de verão quanto para o cenário de inverno.

Na Figura 41, evidencia-se o comportamento térmico destes módulos, permitindo uma análise mais detalhada.

Figura 41 - Comportamento térmico verão dos módulos: MSV e MVSV.



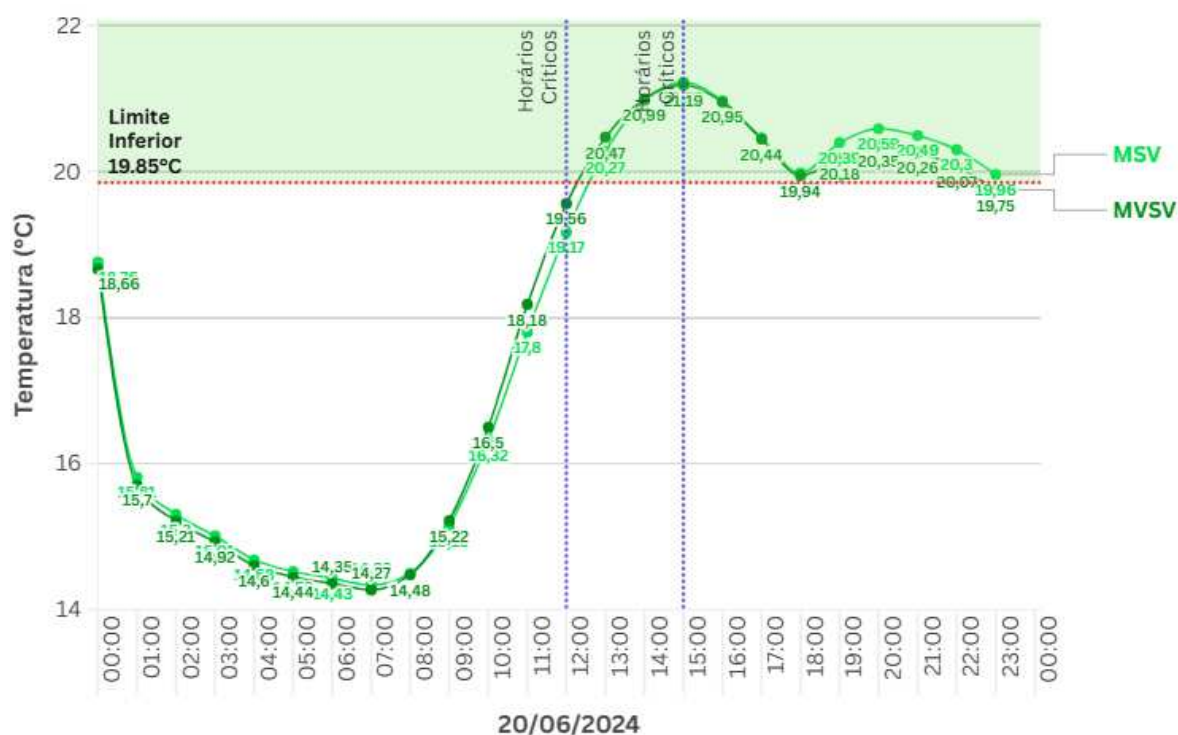
Fonte: Autora.

Observa-se, inicialmente, que os módulos apresentam resultados semelhantes no período marcado entre 17h e 07h, ou seja, entre o entardecer e amanhecer, período que coincide com a menor incidência solar, onde as temperaturas variam entre 19,81°C e 25,54°C para os dois módulos. A partir das 08h observa-se uma elevação térmica acentuada, marcando o início dos horários críticos. Entre 09h e 13h os módulos apresentam um ganho elevado, sendo que o módulo MSV apresenta uma elevação de 4,72°C atingindo a temperatura máxima de 27,47°C, e o módulo

MVSV apresenta um ganho de 4,63°C atingindo a máxima de 26,76°C neste mesmo período. A partir das 13h ambos apresentam redução na temperatura, mantendo-se dentro dos limites operativos até às 00h quando atingem temperaturas menores que o limite inferior. Apesar de apresentarem um comportamento semelhante, o MSV, no período crítico, obteve menor ganho térmico resultando em temperaturas menores comparativamente ao MVSV para o cenário de verão.

Na Figura 42 é possível analisar o comportamento destes módulos no cenário de inverno representado pelo dia 20/06/2024 (solstício).

Figura 42 - Comportamento térmico inverno dos módulos: MSV e MVSV.



Fonte: Autora.

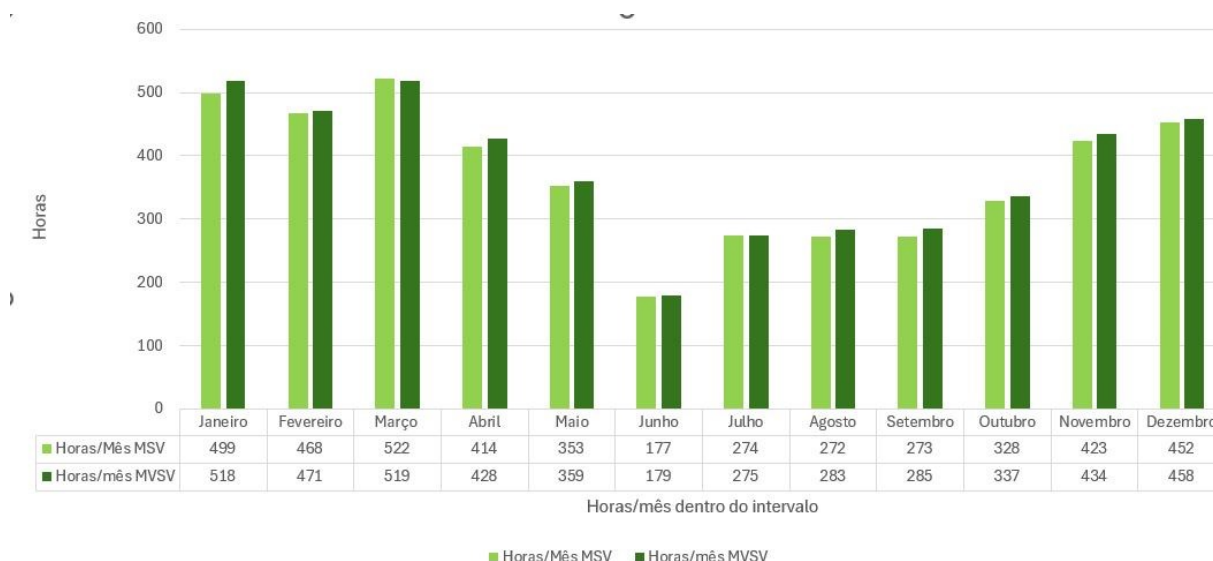
Para o cenário de inverno, os módulos apresentam comportamento semelhante no período entre 00h e 09h, significativamente menores do que o limite inferior, variando de 14,27°C a 18,66°C. A partir deste horário nota-se que as temperaturas começam a se diferenciar, sendo que o módulo MSV apresenta temperaturas menores em até 1,39°C (as 12 horas). No intervalo crítico (entre 12h e 14h) ambos permanecem dentro do limite operativo recomendado, atingindo a máxima de 21,19°C as 14h. Esse comportamento indica bom desempenho em termos de mitigação dos ganhos térmicos mesmo sob incidência solar direta. Neste cenário destaca-se a

análise do período compreendido entre 17h e 23h, onde os módulos apresentam comportamento distinto. Apesar de permanecerem dentro da faixa de limites operativos, o módulo MSV apresenta temperaturas mais elevadas neste período atingindo uma máxima de 20,59°C as 20h, enquanto o módulo MVSV apresenta temperaturas menores de 20,35°C no mesmo horário.

5.5.1.3 Análise Anual

A análise comparativa de comportamento térmico entre os módulos, permitiu determinar o módulo de melhor desempenho térmico em cenários críticos de verão e inverno. Por meio da análise anual é possível verificar se este módulo atende aos demais períodos ao longo do ano. Na Figura 43, apresenta-se a análise anual a partir do número de horas/mês que os módulos selecionados (MSV e MVSV), se encaixam nos limites de temperaturas operativas.

Figura 43 - Horas/mês no limite de temperatura operativa para os módulos MSV e MVSV.



Fonte: Autora.

A avaliação do desempenho anual evidencia diferenças consistentes entre os módulos ao longo dos doze meses analisados, apresentando comportamento semelhante e satisfatório, mantendo-se por longos períodos dentro dos limites propostos e demonstrando coerência com os mecanismos passivos de atenuação térmicas empregados nos modelos. Entretanto, o módulo MVSV apresenta desempenho superior na maior parte do ano registrando maior quantidade de horas dentro do intervalo operativo nos doze meses avaliados.

Os resultados mostram que, nos meses de maior severidade climática, especialmente em junho e julho, quando predominam temperaturas mais baixas, o MVSV mantém desempenho mais estável, com diferenças que variam entre 2 e 8 horas adicionais dentro da faixa de temperatura. Nos meses de transição, como fevereiro, abril, maio e outubro, o módulo também se destaca indicando maior capacidade de respostas às variações de temperaturas externas. Nos períodos de maior aquecimento, como novembro, dezembro e janeiro, a diferença entre os módulos é favorável ao MVSV, ainda que com margens menores. A única exceção ocorre no mês de março, onde o MSV apresenta 3 horas a mais que o MVSV. Contudo, essa diferença pontual não compromete o comportamento global do MVSV, que se mantém mais eficiente nos demais meses.

Assim a análise consolidada do desempenho térmico anual aponta o MVSV como o módulo de melhor desempenho, apresentando maior estabilidade e maior capacidade de manter condições térmicas internas adequadas sob diferentes cenários sazonais. Desta maneira os resultados indicam que para Santos, o uso das estratégias bioclimáticas de ventilação natural, sombreamento e telhado verde associadas ao contêiner com isolamento térmico na envoltória representam o melhor desempenho térmico global para este tipo de habitação. No entanto, é importante frisar que a diferença entre MSV e MVSV é mínima, podendo-se concluir que os dois módulos possuem desempenho satisfatório de boa resposta térmica.

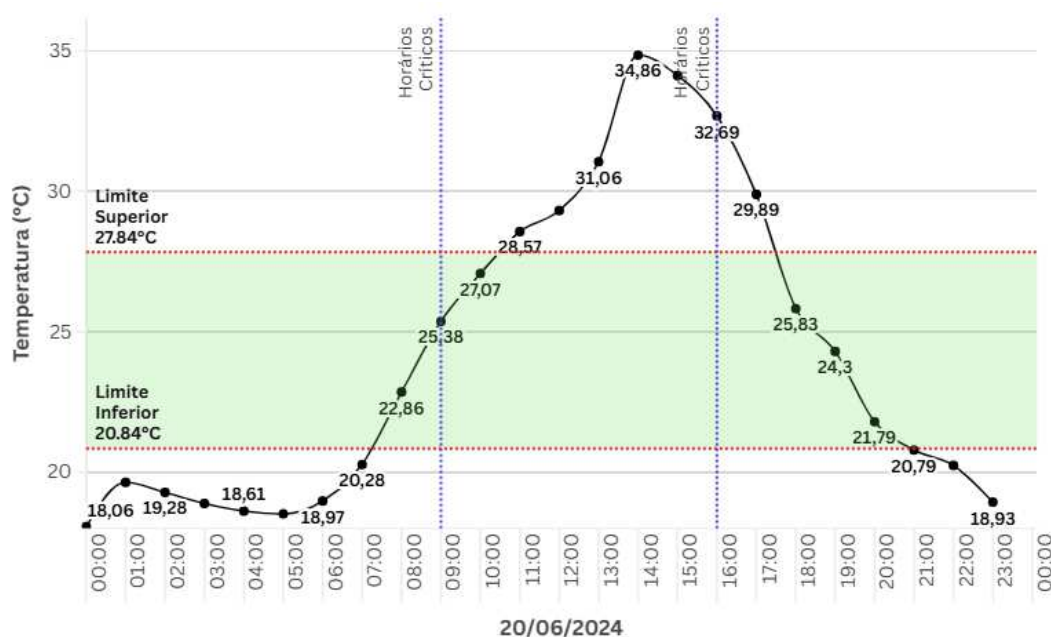
Nos cenários de classificação bioclimática AF, observa-se que as estratégias de controle de radiação solar desempenham papel determinante. O sombreamento das superfícies expostas aponta relevante contribuição para redução dos ganhos térmicos decorrentes da elevada incidência solar combinada às altas temperaturas e a elevada umidade, típicas desse contexto climático. Além disso, a ventilação natural apresentou efeitos positivos no comportamento térmico, favorecendo a dissipação do calor acumulado no interior da edificação, contribuindo para redução das temperaturas operativas. Contudo, sua eficácia depende das condições externas de temperatura, podendo apresentar benefícios mais expressivos nos períodos em que há maior gradiente térmico entre interior e exterior. Dessa forma, os resultados indicam que, em climas AF, a combinação entre estratégias de sombreamento e promoção da ventilação natural constitui fator decisivo para melhoria do desempenho térmico de habitações emergenciais em contêineres.

5.5.2 Los Angeles

5.5.2.1 O Módulo Referencial

O Módulo Referencial (MR) avaliado em Los Angeles ao longo do dia 20/06/2024 (solstício de verão), evidencia uma variação significativa de temperatura operativa ao longo das 24 horas, conforme Figura 44.

Figura 44 - Comportamento térmico do módulo MR para solstício de verão.



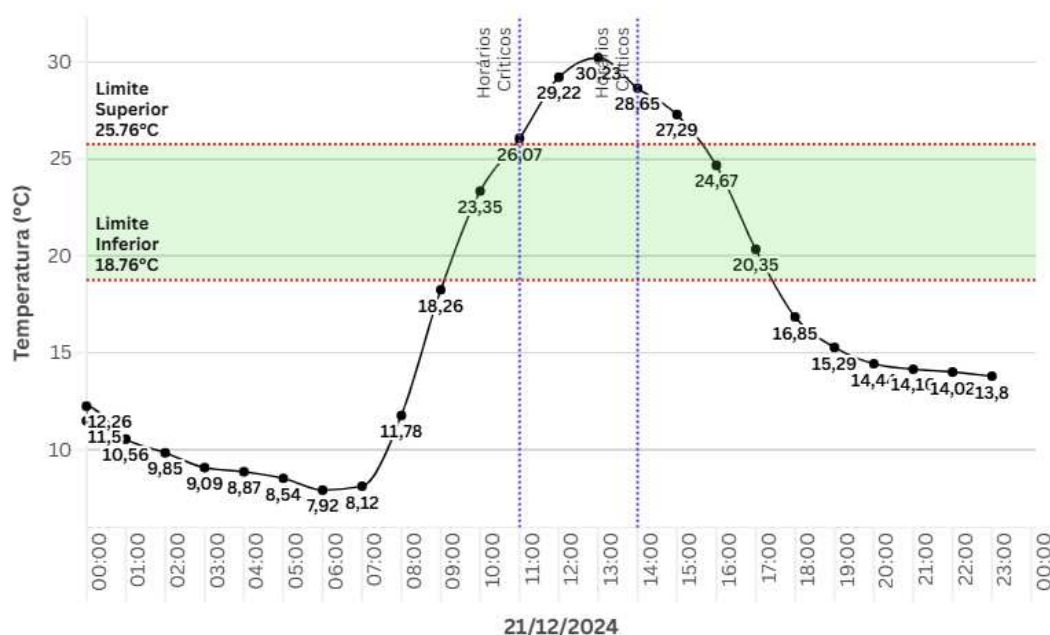
Fonte: Autora.

Observa-se que entre 00h e 07h, as temperaturas variam entre 18,06°C e 20,28°C, situando-se ligeiramente abaixo do limite inferior (20,84°C). A partir deste horário o módulo eleva sua temperatura gradualmente e adentra na faixa de limite a partir das 08h com temperatura de 22,08°C. O período crítico de exposição solar se inicia as 09h quando o módulo apresenta uma temperatura operativa de 25,38°C, que se encaixa no intervalo de limites estabelecidos, contudo as 11 horas o módulo ultrapassa o limite superior, quando atinge 28,57°C. Entre 11h e 16h, quando se encerra o período crítico de insolação, o módulo apresenta temperaturas acima do limite superior (27,84°C), atingindo uma máxima de 34,86°C as 14h, o que representa 7,02°C acima do limite ideal, caracterizando um possível período de superaquecimento. Após as 14h a temperatura interna do módulo decresce e adentra no limite de temperaturas aproximadamente as 18h (temperatura de 25,83°C) e permanece até as 21h, quando atinge 20,79°C e excede o limite inferior. Entre 21h e 23h o módulo apresenta temperaturas que variam entre 20,79°C e 18,93°C.

Estes resultados apontam que nos períodos de maior ganho solar, o sistema construtivo somente com o emprego do isolamento na envoltória não é capaz de restringir adequadamente os ganhos térmicos, refletindo o comportamento típico dos módulos metálicos quando submetidos a altos níveis de radiação.

A análise do cenário oposto, a partir do solstício de inverno (21/12/2024) complementa as discussões sobre o desempenho deste módulo na localidade de Los Angeles. Na Figura 45, é possível analisar o comportamento térmico do módulo no dia 21/12/2024.

Figura 45 - Comportamento térmico do módulo MR para solstício de inverno.



Fonte: Autora.

No período noturno e nas primeiras horas da manhã (entre 00h e 07h) as temperaturas permanecem abaixo do limite inferior operativo (18,76°C, variando de 12,26°C a 8,12°C), representando amplitude de até 10,64°C em relação ao limite inferior. A influência das baixas temperaturas pode ser mitigada por meio do uso de agasalhos e roupas adequadas, constituindo uma estratégia eficaz para aumentar o isolamento térmico do corpo, uma vez que o vestuário acrescenta camadas de resistência térmica reduzindo substancialmente as perdas de calor para o ambiente. A literatura evidencia que o isolamento por vestuário reduz a taxa de transferência de calor entre o corpo e o ambiente frio, permitindo que os ocupantes mantenham conforto térmico e estabilidade fisiológica mesmo quando a temperatura do ar se encontra significativamente abaixo do limite operacional usual de aquecimento (DE LA HOZ-TORRES *et al.*, 2023). Dessa

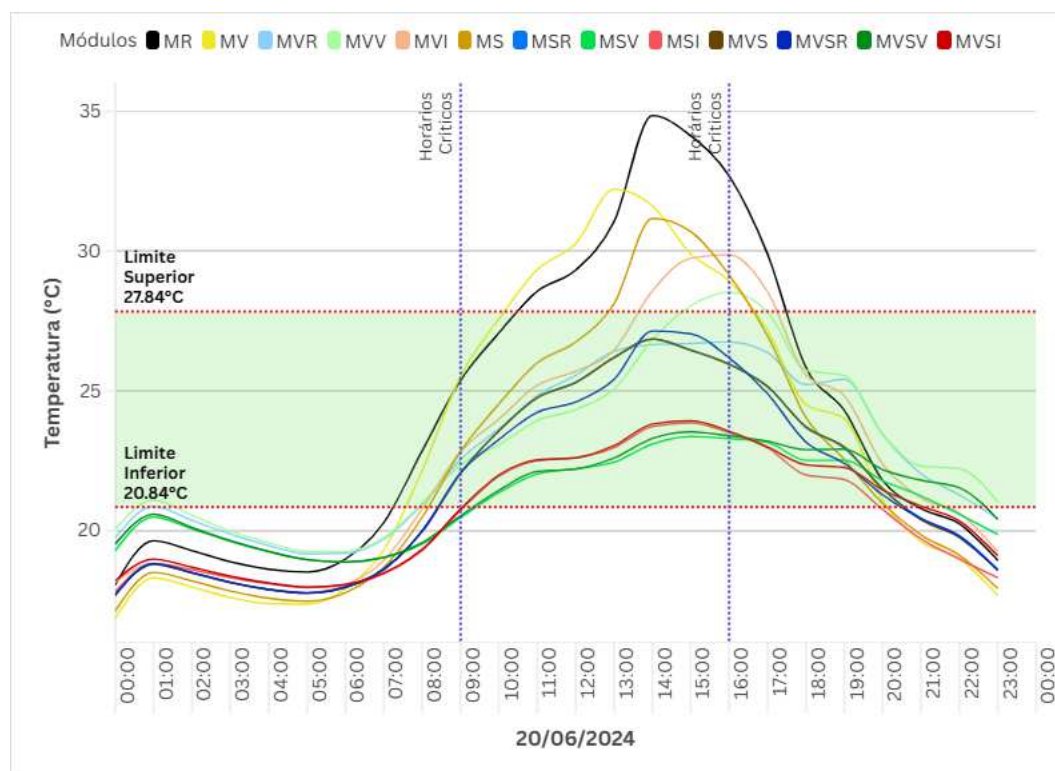
forma, em ambientes com temperaturas internas muito reduzidas o uso de agasalhos, múltiplas camadas de vestimenta e cobertores pode mitigar os efeitos térmicos adversos, postergando a necessidade de aquecimento mecânico e mantendo níveis aceitáveis de conforto e segurança térmica (LI; CHENG; WANG, 2024; DE LA HOZ-TORRES *et al.*, 2023). A partir das 07h observa-se aumento brusco da temperatura, que atinge 18,26°C as 09 horas, ou seja, em duas horas um aumento de 10,14°C. A partir das 09h a temperatura adentra no limite operacional, permanecendo até aproximadamente 11h, horário que demarca o início do período de maior ganho solar. Durante o horário crítico (entre 11h e 14h) as temperaturas operativas ficam acima do limite superior, atingindo uma máxima de 30,23°C as 13h, representando 4,47°C acima do máximo recomendado. A temperatura volta a se enquadrar na faixa adequada entre 14h e 15h e permanece até aproximadamente 17h, quando atinge 16,85°C. A partir daí a temperatura decai chegando a 13,8°C as 23h.

Os resultados demonstram que, mesmo com o isolamento convencional, o sistema construtivo apresenta desempenho limitado. Nas horas de menor incidência solar atinge temperaturas muito baixas em seu interior, e nos horários de maior insolação ultrapassa o limite máximo recomendado, indicando risco de superaquecimento, ainda que no inverno. De maneira geral, o módulo com isolamento na envoltória, apresenta desempenho térmico desfavorável tanto no cenário de verão quanto no cenário de inverno, apresentando grandes oscilações ao longo do dia, o que torna a habitabilidade humana inadequada, e reforça a necessidade de uso de estratégias bioclimáticas para mitigar os efeitos térmicos.

5.5.2.2 *Análise Geral*

Na Figura 46, observa-se o comportamento térmico dos módulos associados as estratégias bioclimáticas, simulados para Los Angeles no cenário de verão representado pelo dia 20/06/2024 (solstício de verão).

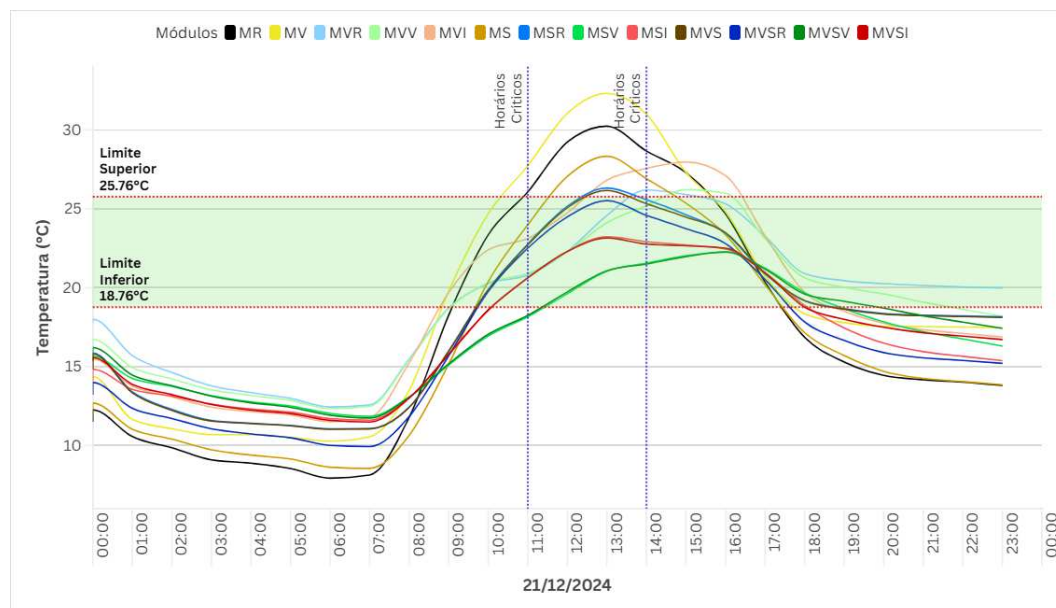
Figura 46 - Comportamento térmico do de todos os módulos no solstício de verão em Los Angeles.



Fonte: Autora.

A avaliação conjunta dos módulos evidencia um comportamento térmico caracterizado por aumento progressivo da temperatura interna conforme a intensificação da incidência solar. Observa-se que entre 00h e 07h, todos os módulos avaliados apresentam temperaturas estáveis abaixo do limite inferior operativo (20,84°C). A partir deste horário inicia-se um período de aquecimento acentuado, culminando nos horários críticos definidos entre 09h e 16h, quando ocorrem os picos máximos de temperatura operativa para todos os módulos. Neste intervalo nota-se que os módulos MR, MV, MVV, MVI e MS, ultrapassam o limite operativo superior (27,84°C), representando risco de superaquecimento. Por outro lado, os demais módulos MSR, MSV, MSI, MVS, MVSR, MVSV e MVSII destacam-se por manterem as temperaturas dentro dos limites térmicos durante os horários críticos. O cenário de inverno representado pelo solstício de inverno (21/12/2024) busca complementar a seleção dos módulos a serem analisados posteriormente. O comportamento térmico dos módulos é apresentado por meio da Figura 47.

Figura 47 - Comportamento térmico do de todos os módulos no solstício de inverno em Los Angeles.



Fonte: Autora.

Para o cenário de inverno observa-se que a baixa temperatura ambiente no período compreendido entre 18h e 06h afeta diretamente o comportamento térmico dos módulos, provocando baixas temperaturas internas. O período entre 18h e 06h é marcado por esse comportamento, onde todos os módulos apresentam temperaturas abaixo do limite inferior (18,76°C). A partir das 07h, inicia-se o aquecimento interno dos módulos provocado pela exposição solar, atingindo os limites de temperaturas operativas entre 08h e 10h. O período de maior exposição solar ocorre entre 11h e 13h, e neste intervalo os módulos MR, MV, MVR, MVI, MS, MSR, MVS ultrapassam o limite de temperatura operativa superior. O módulo MVV ultrapassa o limite superior no período entre 15h e 17h. Em contrapartida os demais módulos não ultrapassam o limite superior. Desta forma, justifica-se o descarte dos módulos que excederam os limites térmicos, nos cenários verão ou inverno, uma vez que estes apontam risco de superaquecimento. A seleção subsequente da pesquisa concentra-se, na análise comparativa dos módulos: MSV, MSI, MVSR, MVSV e MVSI.

Na Figura 48, evidencia-se o comportamento térmico destes módulos, permitindo análise mais detalhada.

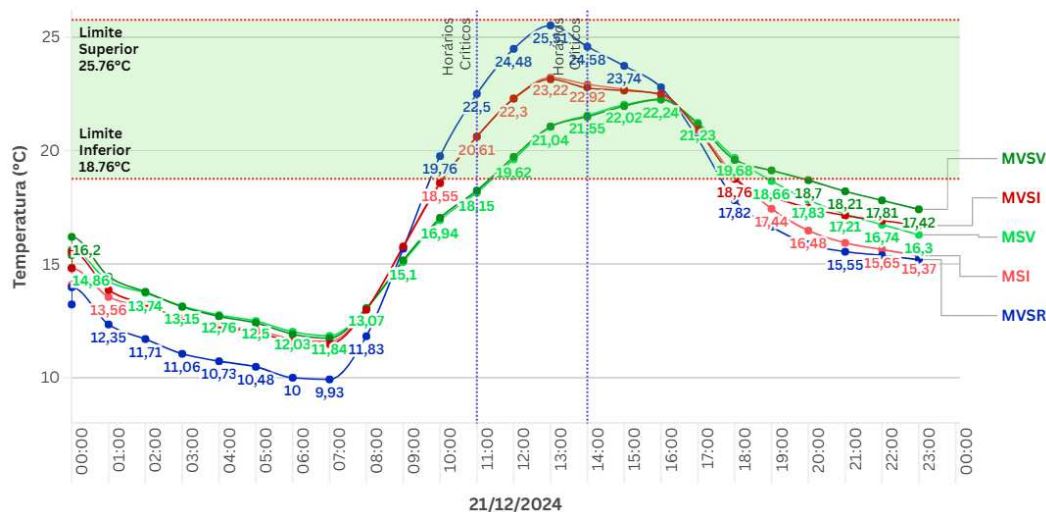
Figura 48 - Comportamento térmico verão dos módulos: MSV, MSI, MVSR, MVSV e MVSI.



Fonte: Autora.

Entre 00h e 06h todos os módulos apresentam redução de temperaturas, as quais abaixo do limite inferior operativo (20.84°C), a partir das 06h observa-se um aumento na temperatura interna em todos os modelos, com destaque para o módulo MVSR, que apresenta o crescimento mais acelerado, ultrapassando o limite inferior entre 08h e 09h e atingindo o pico de 27,14°C às 13h. Durante o horário crítico nota-se comportamento semelhante entre os módulos MSI e MVSI, e entre MSV e MVSV, que ao longo deste período apresentam temperaturas muito próximas. Os módulos MSI e MVSI se assemelham por apresentarem as estratégias de sombreamento e cobertura isolada em comum, o que permite avaliar a influência da estratégia de ventilação aplicada no módulo MVSI. O comportamento entre estes se difere a partir das 17h e prevalece até às 23h. Neste período nota-se que o módulo MVSI mantém sua temperatura mais elevada que o MSI, fato proporcionado pela troca de calor com meio externo por meio da ventilação. O mesmo acontece com o comportamento entre os módulos MSV e MVSV, que são semelhantes devido ao uso da estratégia de sombreamento e cobertura verde aplicada a ambos. No período compreendido entre 18h e 23h observa-se a diferença de temperaturas nestes módulos, sendo que o módulo que faz uso da estratégia de ventilação (MVSV) apresenta temperaturas operativas mais elevadas, devido as trocas com o meio externo. Complementarmente a análise do cenário de inverno torna-se necessária e na Figura 49 é possível observar este resultado.

Figura 49 - Comportamento térmico no inverno dos módulos: MSV, MSI, MVSR, MVSV e MVSI.

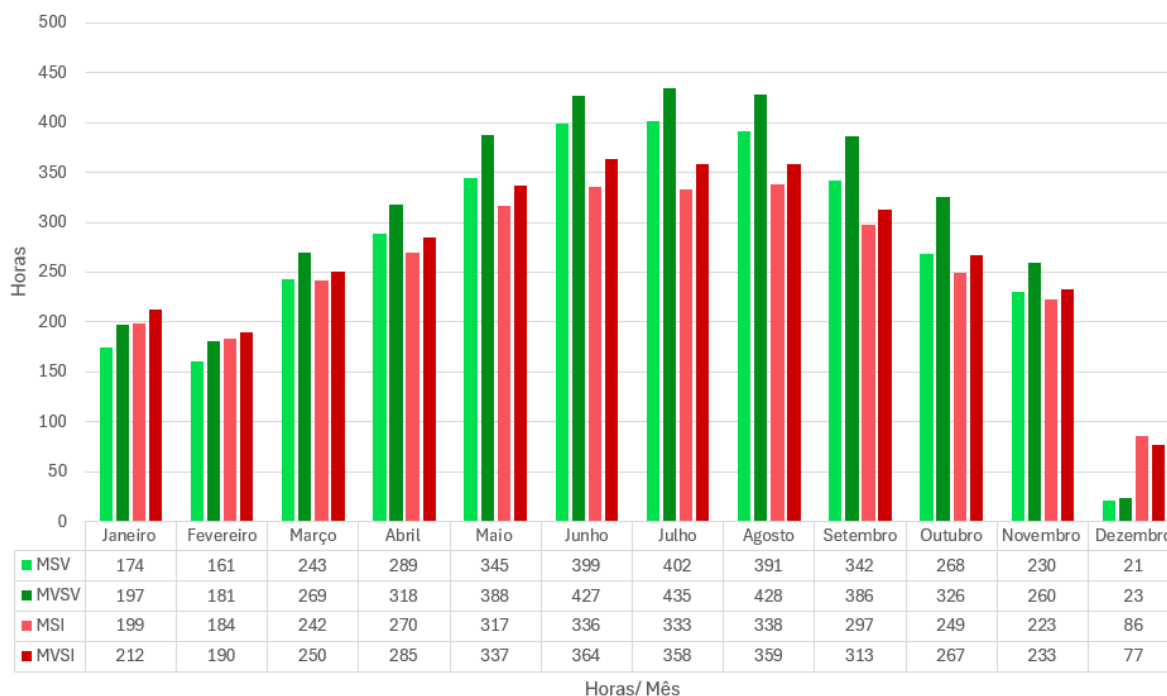


Fonte: Autora.

Entre 00h e 07h todos os módulos se encontram abaixo do limite térmico inferior (18,76°C) entre eles destaca-se o módulo MVSR que apresenta as menores temperaturas atingindo 9,93°C às 07h, o que representa 8,83°C abaixo do recomendado. A partir deste horário observa-se aumento gradual da temperatura de todos os módulos, devido ao início da exposição solar. No intervalo de horários críticos que ocorre entre 11h e 14h, destaca-se o comportamento do módulo MVSR, que apresenta as temperaturas mais elevadas atingindo máxima de 25,51°C às 13h. Em conjunto observa-se que tanto os módulos MSI e MVSI, quanto MSV e MVSV apresentam comportamentos semelhantes que permanecem até as 16 horas, quando começam a se diferenciar. A partir deste horário nota-se queda significativa para o módulo MVSR, observa-se também que os módulos que fazem uso da ventilação (MVSV e MVSI) apresentam temperaturas internas maiores que os seus semelhantes (MSV e MSI), indicando que a ventilação contribui para manter a estabilidade térmica do módulo no inverno, ressaltando que para baixas temperaturas externas torna-se favorável a estabilidade da temperatura interna. Além disso a ventilação pode ser controlada por meio da abertura e fechamento das janelas, permitindo controlar a ventilação de acordo com a necessidade.

Posteriormente, por meio da análise anual de horas dentro dos limites operativos é possível concluir qual destes módulos apresenta um resultado satisfatório ao longo do ano. Devido à instabilidade apresentada pelo módulo MVSR, descarta-se este módulo para as análises anuais. Na Figura 50, apresentam-se os resultados anuais.

Figura 50 – Horas/mês no limite de temperatura operativa para os módulos MSV, MSI, MVSV e MVSI.



Fonte: Autora.

A avaliação anual dos módulos MSV, MVSV, MSI e MVSI para a localidade de Los Angeles revela padrões distintos de desempenho térmico. Observa-se que todos os módulos apresentam baixo número de horas dentro da faixa operativa nos meses de inverno (especialmente em dezembro), com aumento progressivo do número de horas a partir de janeiro e predominância de valores máximos durante os meses de verão (junho a agosto). Entre os módulos avaliados, o MVSV se destaca como aquele que apresenta maior número de horas dentro do intervalo ao longo dos diferentes períodos do ano, sendo superior ao módulo MSV em todos os meses analisados, e ficando abaixo dos módulos MSI e MVSI apenas nos meses de dezembro a fevereiro. Os módulos MSI e MVSI apresentam desempenho inferior, permanecendo abaixo dos módulos MSV e MVSV na maioria dos meses. Esses dois modelos demonstram maior sensibilidade às condições climáticas externas, sobretudo durante o verão comprometendo sua adequação como soluções de melhor eficiência térmica.

Os resultados indicam que a solução construtiva que faz uso das estratégias de sombreamento e cobertura verde, reduzem as trocas térmicas exterior/interior do módulo, resultando em temperaturas operativas mais baixas. Por outro lado, os módulos que fazem uso da associação de sombreamento e cobertura isolada com EPS resultam em redução das trocas térmicas, sendo que, tanto no verão quanto no inverno (meses críticos) as temperaturas se

apresentam mais elevadas em relação a cobertura verde. Em relação a ventilação, é possível concluir que os módulos que possuem a estratégia de ventilação natural (MVSV e MVSI) apresentam resultados superiores ao longo de todo o ano, indicando que a ventilação contribui positivamente para o resfriamento (verão) e aquecimento (inverno) passivo do interior do módulo. Desta maneira, destaca-se que para a localidade de Los Angeles o módulo MVSV apresenta resultados mais eficazes ao longo do ano, contribuindo para um maior período de permanência na faixa de temperaturas operativas.

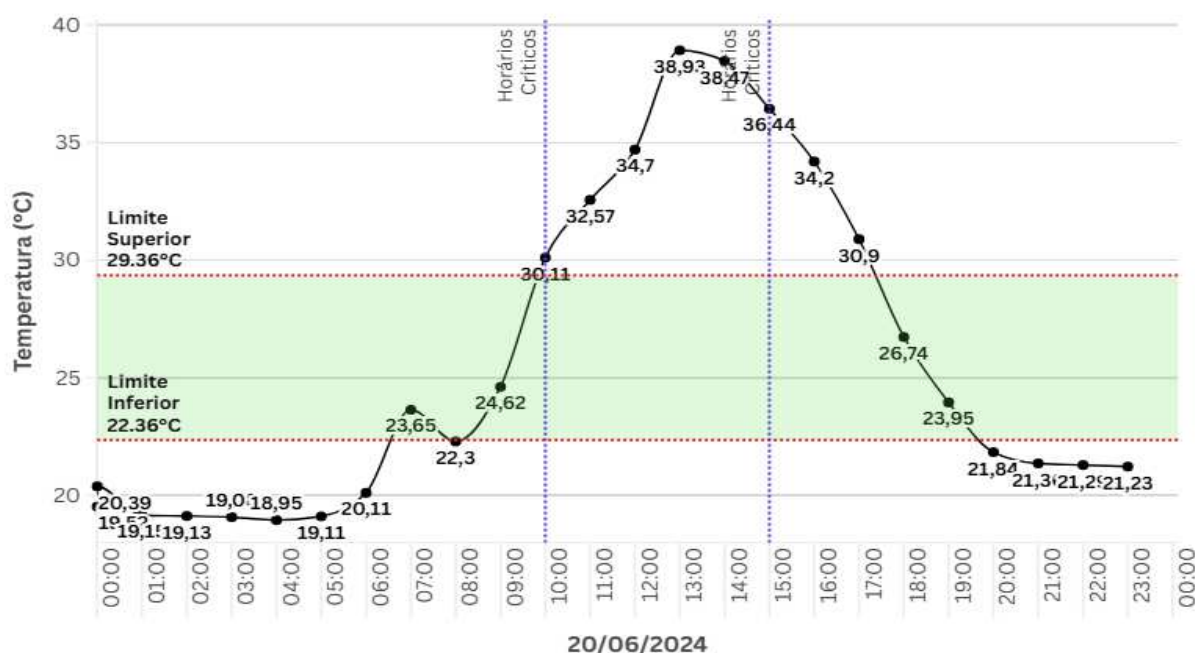
Em climas de classificação CSA, observou-se que o desempenho térmico do módulo está fortemente relacionado a capacidade de adaptação as variações sazonais típicas desse clima, marcado por verões quentes e secos e invernos amenos. A estratégia de retenção térmica adotada para o período de inverno, como o uso de isolamento térmico na envoltória reduz as perdas de calor, mas ainda assim mostrou-se insuficiente para manter as temperaturas internas dentro das faixas aceitáveis. No cenário anual, a combinação mais equilibrada foi a que conciliou a proteção solar no verão por meio do sombreamento e o controle da radiação com a potencialização da ventilação natural, permitindo reduzir os ganhos excessivos nos períodos quentes. Assim, evidencia-se que em climas CSA, soluções que integrem estratégias passivas de forma complementar são essenciais para alcançar desempenho térmico satisfatório ao longo de todo o ano.

5.5.3 Shanghai

5.5.3.1 O Módulo Referencial

Neste item apresenta-se a avaliação do comportamento térmico do Módulo Referencial (MR) para a cidade de Shanghai. Na Figura 51, é possível observar os resultados térmicos do módulo para o de solstício de verão (20/06/2024).

Figura 51 - Comportamento térmico do módulo MR para solstício de verão.



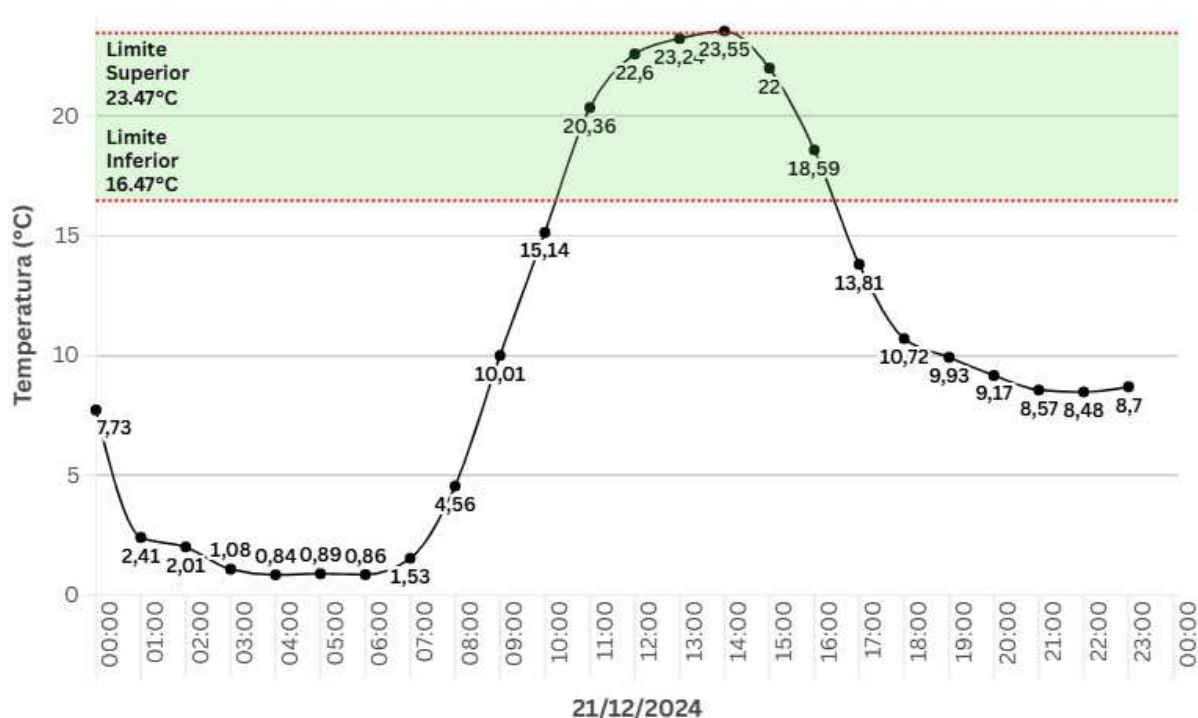
Fonte: Autora.

Nas primeiras horas entre 00h e 05h observa-se pequena variação de temperatura abaixo do limite inferior operativo (22,36°C), a partir das 06 horas nota-se aumento gradual da temperatura variando de 22,3°C a 30,11°C às 10h, momento em que a temperatura ultrapassa o limite superior estabelecido, coincidindo com o marco inicial do período crítico. No horário de maior incidência solar (entre 10h e 15h) as temperaturas se apresentam predominantemente acima do limite superior (29,36°C, atingindo um valor máximo de 38,93°C às 13h, o que representa 9,57°C além do limite máximo recomendado. Após as 15h observa-se que a temperatura reduz progressivamente, passa pela zona térmica ideal entre 17h e 19h, com temperaturas que variam de 26,74°C à 21,84°C, e se apresentam menores que o limite inferior (22,36°C) a partir das 19h, com variação de 21,84°C à 21,23°C. A amplitude máxima de temperaturas, representada pela diferença entre a máxima e a mínima, é de 19,82°C,

demonstrando que o módulo sofre uma grande variação da temperatura interna ao longo das 24 horas analisadas.

Por meio da Figura 52, é possível analisar o cenário no solstício de inverno (21/12/2024).

Figura 52 - Comportamento térmico do módulo MR para solstício de inverno.



Fonte: Autora.

A avaliação do comportamento térmico do módulo MR durante o solstício de inverno, evidencia variação acentuada das temperaturas internas ao longo das 24 horas, fortemente influenciadas pelas baixas temperaturas do meio externo. As temperaturas internas se apresentam, de forma geral, abaixo do limite inferior (16,47°C). O período entre 01h e 07h da manhã destaca-se por apresentar temperaturas próximas a 0°C, havendo a necessidade de sistema artificial de aquecimento do ar. Das 07h às 10h percebe-se ganho de 13,61°C na temperatura interna. Entre 11h e 15h a temperatura interna se encaixa dentro dos limites estabelecidos, com a máxima de 23,55°C às 14h. Apesar do módulo apresentar resultados de aquecimento neste período devido a insolação, as baixas temperaturas externas indicam que o ganho solar é desejável, o que justifica o uso de um beiral mínimo para o sombreamento, e a ausência das marcações de horários críticos na análise. Após as 14h inicia-se uma redução na temperatura interna do módulo, e este volta a apresentar temperaturas abaixo do limite inferior estabelecido,

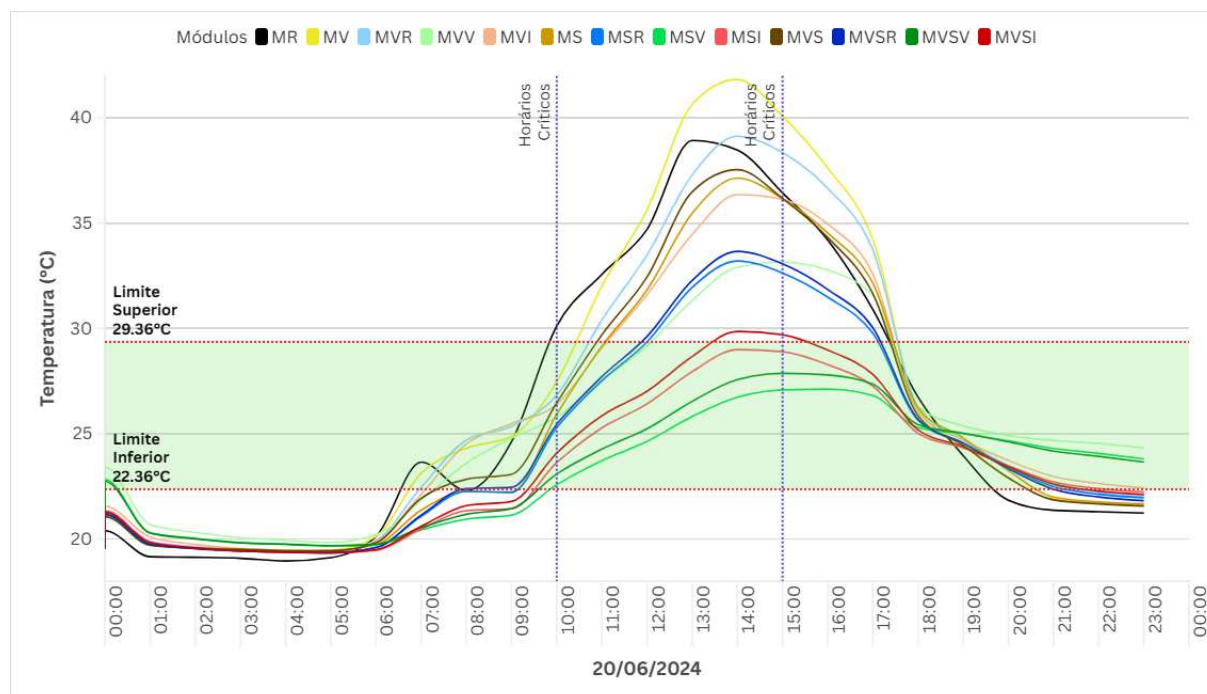
apresentando temperaturas que variam entre 13,81°C e 8,48°C, até às 23h. A diferença entre temperatura máxima e mínima neste cenário é de 22,71°C.

Diante dos resultados apresentados, observa-se de maneira geral comportamento irregular do módulo referencial, apresentando período superaquecimento no cenário de verão, e temperaturas extremamente baixas no cenário de inverno. Os resultados reforçam que, apesar do isolante térmico aplicado na envoltória apresentar melhorias no desempenho térmico, ele não é capaz estabilizar a temperatura interna e torná-la ideal ao uso, fazendo-se necessário a aplicação de estratégias bioclimáticas para melhorar o desempenho térmico ou de estratégias artificiais de controle de temperatura.

5.5.3.2 Análise Geral

Os resultados térmicos dos módulos com estratégias bioclimáticas associados ao módulo referencial são apresentadas na Figura 53 para o cenário de verão (solstício de verão – 20/06/2024).

Figura 53 - Comportamento térmico do de todos os módulos no solstício de verão em Shangai.



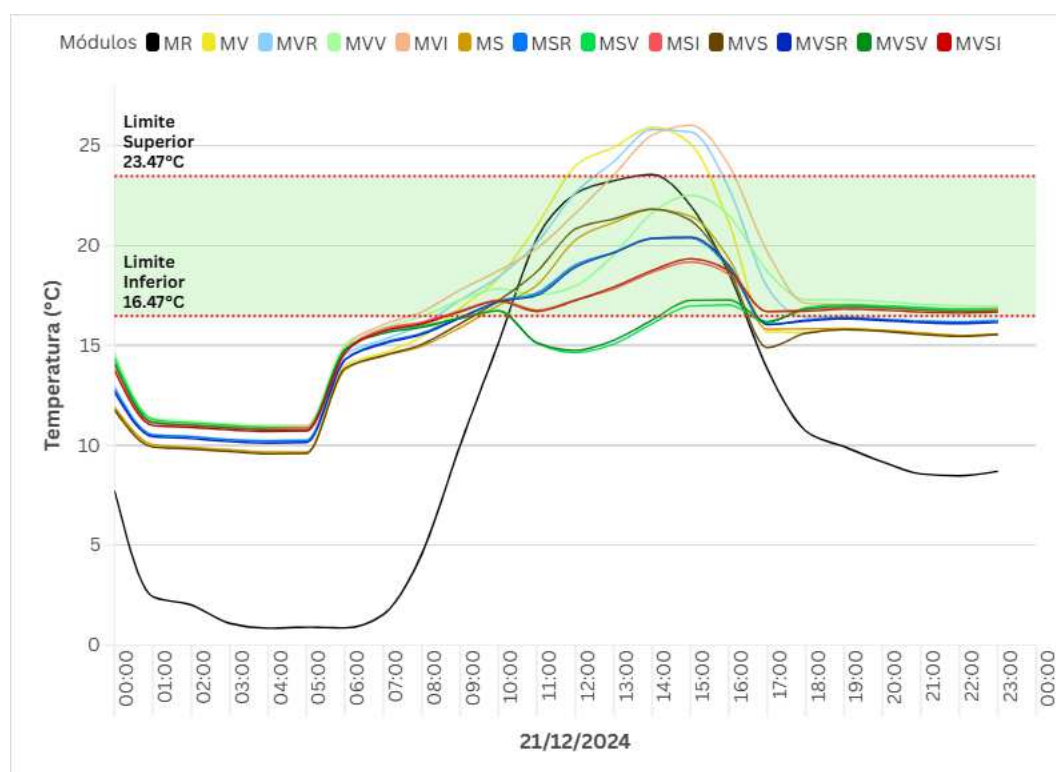
Fonte: Autora.

Por meio da imagem identifica-se comportamento semelhante de todos os módulos no período compreendido entre 00h e 06h, onde todos estão abaixo do limite operativo inferior

(22,36°C). A partir das 06h observa-se aumento gradual da temperatura para todos os módulos, adentrando na faixa ideal entre 07h e 10h. Durante o período de maior exposição solar (entre 10h e 15h) observa-se que os módulos MR, MV, MVR, MVV, MVI, MS, MSR, MVS, MVSR e MVSI ultrapassam o limite superior (29,36°C) indicando risco de superaquecimento. Neste mesmo intervalo, MSV, MSI e MVSV permanecem dentro da faixa de temperatura recomendada. A partir das 17h observa-se redução na temperatura de todos os módulos, que passam a ocupar a zona determinada pelos limites até às 20h. Após este horário as temperaturas continuam declinando até às 23h, neste intervalo destacam-se os módulos MSV, MSI e MVSV que permaneceram dentro da faixa de temperaturas operativas recomendadas.

Na Figura 54, apresentam-se os resultados para os módulos no cenário de inverno (solstício de inverno – 21/12/2024), marcado pelas baixas temperaturas.

Figura 54 - Comportamento térmico do de todos os módulos no solstício de inverno em Shangai.



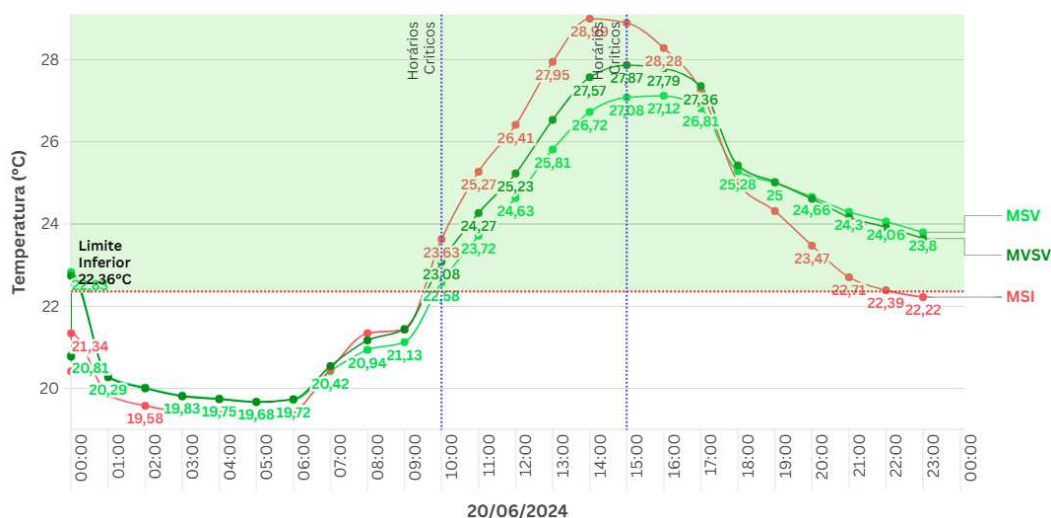
Fonte: Autora.

Para o cenário inverno, marcado por baixas temperaturas, fica evidente que o uso de qualquer estratégia bioclimática proposta neste estudo proporciona melhorias térmicas para a habitação. No primeiro período entre 00h e 10h, nota-se o comportamento térmico semelhante

para todos os módulos, com exceção do MR, com temperaturas operativas abaixo do limite inferior (16,47°C), com pico de elevação entre 05h e 06h, e elevação gradual entre 06h e 10h, momento em que todos atingiram a faixa de temperatura operativa. No período entre 10h e 14h, identifica-se que os módulos MV, MVR e MVI ultrapassam o limite superior (23,47°C) e permanecem acima até às 17h, e os módulos MSV e MVSV permanecem abaixo do limite inferior (16,47°C) até às 15h quando retornam a faixa de limites. Entre 15h e 17h, todos os módulos apresentam queda acentuada nas temperaturas internas, destacando-se os módulos MSV e MVSV por apresentarem queda menos intensa. Entre 17h e 23h os módulos, com exceção de MR, apresentam comportamento estável, com variações mínimas de temperatura.

No cenário de inverno os módulos que apresentam maior tempo de permanência na faixa de limites operativos recomendados são: MR, MVV, MS, MSR, MSV, MSI, MVS, MVSR, MVSV e MSVI. Complementando com a análise de verão, os módulos de melhor desempenho devem atender satisfatoriamente os dois cenários, desta forma seleciona-se para as análises posteriores os módulos: MSV, MSI e MVSV. Na Figura 55 apresenta-se os resultados térmicos destes módulos no cenário verão.

Figura 55 - Comportamento térmico verão dos módulos: MSV, MSI, MVSV.



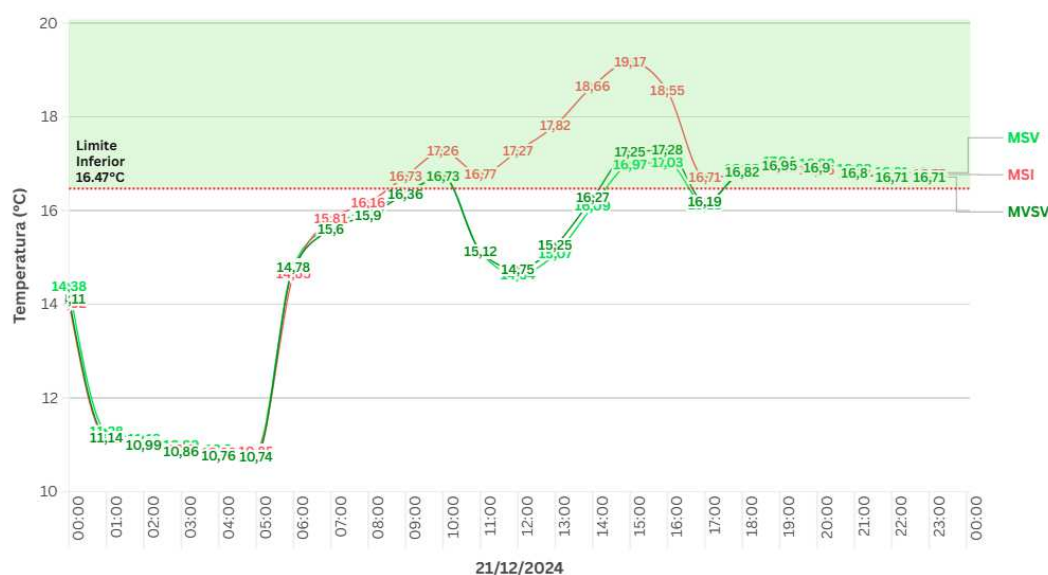
Fonte: Autora.

Os módulos no período inicial compreendido entre 00h e 09h apresentam comportamento térmico semelhante, apresentando-se abaixo do limite inferior (22,36°C) com redução das temperaturas entre 00h e 06h, período de dissipação do calor interno, e elevação da temperatura entre 06h e 09h, início da exposição solar. A partir das 09h observa-se que todos os módulos

adentram na faixa de limites operativos propostos. O módulo MSI apresenta temperatura mais elevada, atingindo máxima de 28,89°C às 13h. O módulo MSV apresenta as temperaturas menores, atingindo o pico de 27,12° às 16h, O módulo MVSV apresenta temperaturas medianas, atingindo a máxima de 27,87°C às 15h, horário que demarca o fim do período de maior exposição solar. Após as 16h todos os módulos sofrem redução de temperatura semelhantes até às 17h, horário se inicia queda acentuada da temperatura interna do módulo MSI que varia de 26,81°C à 22,22°C, redução de 4,59°C até às 23h. Os módulos MSV e MVSV apresentam redução de aproximadamente 3°C no mesmo período. Apesar da queda de temperatura os módulos permanecem na faixa de limites operativos até às 23h. Neste cenário observa-se que o MSI possui uma variação térmica maior ao longo do dia do que os MSV e MVSV.

A análise do comportamento térmico dos mesmos módulos no cenário inverno (solstício de inverno – 21/12/2024) pode ser observada por meio da Figura 56.

Figura 56 - Comportamento térmico inverno dos módulos: MSV, MSI, MVSV.



Fonte: Autora.

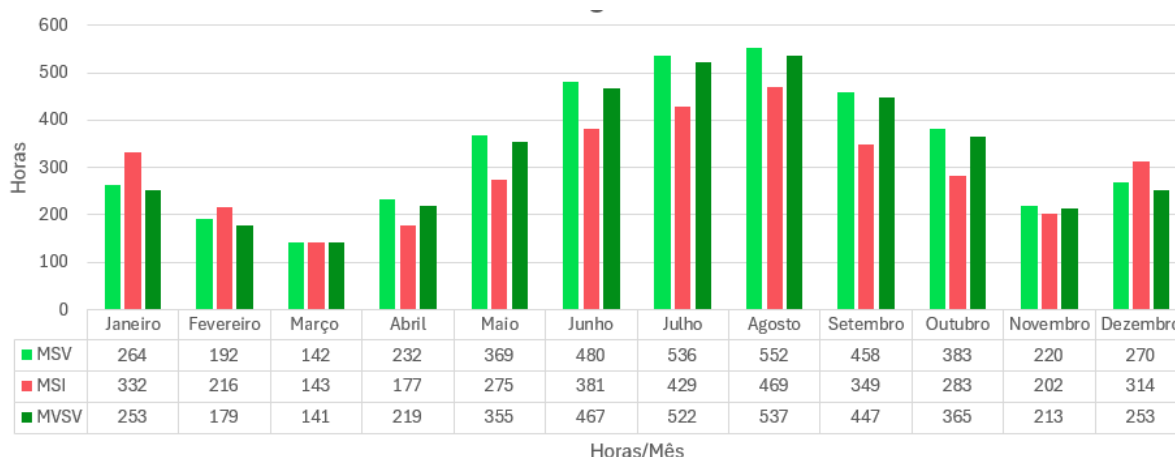
A variação horária das temperaturas operativas evidencia comportamento térmico marcado por acentuado resfriamento noturno, seguido de rápido aumento após o nascer do sol e estabilização no período da tarde. Entre 00h e aproximadamente 06h, todos os módulos se mantêm abaixo do limite inferior de conforto (16,47°C), com temperaturas variando entre 10,7°C e 14,3°C, refletindo baixas temperaturas externas e a reduzida inércia térmica, característica das construções baseadas em contêiner metálico. No entanto, essas baixas temperaturas podem ser

solucionadas com o uso de agasalhos e cobertores, sem a necessidade de aquecimento artificial. A partir das 07h00, inicia-se um processo de aquecimento, levando todo os módulos a atingir valores próximos ou acima do limite inferior. Entre 09h e 15h observa-se divergência relevante no comportamento térmico entre os módulos. Entre 09h e 14h, o módulo MSI apresenta temperaturas que variam entre 17,26°C e 19, 17°C enquanto os módulos MSV e MVSV apresentam temperaturas abaixo do limite inferior (16,47°C) atingindo mínima de 14,75°C às 12 horas, e após esse horário observa-se ganho térmico até atingir a temperatura de 17,28°C às 16 horas. Entre 16h e 18h os mesmos módulos apresentam mais um período abaixo do limite inferior, retornando para a faixa após esse horário, período em que todos os módulos se comportam de maneira similar, dentro da faixa de temperaturas estabelecidas.

De maneira geral, os módulos que possuem sombreamento e telhado verde em comum (MSV e MVSV) apresentaram resultados semelhantes para os dois cenários analisados, observa-se que no cenário verão apresentam-se majoritariamente dentro da faixa de temperaturas recomendada, com temperaturas menores em relação ao MSI. No entanto, no cenário inverno comportam-se de maneira irregular ao longo do dia, apresentando resultados abaixo da faixa de limite inferior em períodos vespertinos. O módulo MSI permanece dentro dos limites de temperatura operativa na maior parte do dia tanto no cenário verão quanto no inverno, demonstrando tendência a maior estabilidade de temperaturas

A análise anual, ilustrada pela Figura 57, permite complementar a análise quanto ao desempenho térmico destes módulos para os demais períodos do ano.

Figura 57 - Horas/mês no limite de temperatura operativa para os módulos MSV, MSI, MVSV.



Fonte: Autora.

A avaliação anual do número de horas mensais em que cada módulo permanece dentro dos limites de temperatura operativa evidencia padrões distintos de estabilidade térmica entre os modelos MSI, MSV e MVSV. Observa-se que o módulo MSI apresenta o maior número de horas dentro dos limites nos meses de clima mais ameno (dezembro a fevereiro), indicando resposta térmica favorável quando a temperatura externa é baixa. No entanto, a partir de março e especialmente nos meses de maior exigência climática — junho a setembro —, sua estabilidade diminui, apresentando menor capacidade de permanecer dentro da faixa operativa. Os módulos MSV e MVSV, por sua vez, demonstram comportamento notavelmente mais estável ao longo do ano, com aumento significativo de horas dentro das faixas operativas nos meses de verão. Entre esses dois módulos, observa-se que o MSV apresenta o maior número de horas dentro dos limites operativos na maioria parte dos meses, destacando-se particularmente em junho, julho, agosto e setembro, período em que são observadas as maiores amplitudes térmicas externas. Apesar disso, o módulo MVSV apresenta desempenho muito próximo ao MSV, o que indica que ambos os módulos apresentam soluções construtivas eficazes na contenção das oscilações térmicas, proporcionando maior regularidade ao longo do ano, e indica que a ventilação natural exerce papel crucial no desempenho térmico. Observa-se que o módulo MVSV apresenta menor quantidade de horas dentro da faixa operativa nos cenários de verão e inverno, comparativamente ao MSV. Tal fato pode ser atribuído a troca térmica interior/exterior que ocorre por meio da ventilação natural, resultando em maiores temperaturas internas em épocas quentes, e temperaturas internas reduzidas em épocas frias.

Ao considerar o comportamento anual agregado, incluindo a soma total de horas dentro dos limites operativos e a consistência de desempenho ao longo dos 12 meses, o módulo MSV destaca-se como o melhor desempenho térmico geral, apresentando as maiores quantidades mensais de horas dentro dos limites operativos nos meses críticos, e mantém estabilidade entre diferentes condições sazonais, demonstrando maior resiliência térmica frente às variações climáticas anuais de Shanghai. Destaca-se que a associação das estratégias de sombreamento e cobertura verde para Shanghai demonstram resultado eficiente, reduzindo os ganhos térmicos durante os períodos de maior aquecimento e mantendo a temperatura interna adequada durante o período de inverno.

Nos cenários correspondentes ao clima CFA, verificou-se que a cobertura verde apresentou maior eficiência quando comparada a outras estratégias, especialmente devido à sua

capacidade de atuar como elemento de isolamento térmico reduzindo as variações de temperatura superficial. Essa solução contribuiu para a redução de ganhos térmicos no verão, e auxiliou na atenuação das perdas térmicas em períodos mais amenos. Contudo, os resultados indicaram maior instabilidade sazonal no desempenho térmico do módulo, reflexo das características desse clima, que combina verões quentes e úmidos com invernos relativamente frios. Essa variabilidade exige maior adaptabilidade das estratégias adotadas, evidenciando que, embora a cobertura verde se destaque como solução relevante, seu desempenho é potencializado quando associada a medidas complementares, como sombreamento, garantindo melhor estabilidade térmica ao longo do ano.

5.5.4 Comparação Integrada entre as Zonas Bioclimáticas

Nesta seção apresenta-se uma comparação integrada entre as zonas bioclimáticas, com base nos resultados obtidos a partir da análise de cenários críticos. Para cada localidade, foram consideradas as estratégias bioclimáticas mais adequadas, cujos desempenhos foram analisados em comparação com o módulo referencial. São analisados os indicadores de desempenho térmico como o número de horas anuais dentro dos limites operativos, as temperaturas máximas e mínimas internas, a amplitude térmica e a redução térmica percentual associada associados à aplicação das estratégias propostas. Essa abordagem permite avaliar, de forma integrada, as melhorias no desempenho térmico decorrentes da aplicação das diferentes soluções propostas em cada contexto climático.

Na Tabela 21 apresentam-se os resultados de comparação entre o módulo referencial (MR) e os módulos de melhor desempenho térmico para cada localidade em um cenário de verão.

Tabela 21 - Cenário de Verão.

Local	Santos		Los Angeles		Shangai	
	MR	MVSV	MR	MVSV	MR	MSV
Temperatura máxima (°C)	41,93	27,46	34,85	23,53	38,92	29,85
Temperatura mínima(°C)	17,10	19,92	18,05	18,87	18,95	19,33
Amplitude Térmica (°C)	24,83	7,54	16,79	4,66	19,97	10,51

A análise da amplitude térmica no cenário de verão evidencia diferenças expressivas entre o módulo de referência (MR) e as melhores soluções adotadas para cada localidade, indicando o impacto direto das estratégias no controle da carga térmica interna. Em Santos, observa-se uma

redução da amplitude térmica de 24,83°C (MR) para 7,54°C (MVSV), o que corresponde a uma contração aproximada de 69,6%. Esse resultado está diretamente associado a combinação entre sombreamento eficiente e ventilação natural, estratégias que atuam diretamente na redução dos ganhos solares e na dissipação do calor acumulado, sendo particularmente eficazes em climas quentes e úmidos.

Em Los Angeles, a amplitude térmica é reduzida de 16,79°C (MR) para 4,66°C (MVSV), resultando em uma atenuação de aproximadamente 72,2%. Neste contexto, destaca-se o papel do isolamento térmico aliado ao controle de radiação solar, que permite minimizar os ganhos térmicos no verão e estabilizar as variações de temperatura ao longo do dia, evidenciando uma solução equilibrada para climas com maiores amplitudes térmicas. Em Shanghai, a redução ocorre de 19,97°C (MR) para 10,51°C (MSV), representando uma contração de 47,4%. Esse desempenho está relacionado a atuação da cobertura verde, que contribui para a redução dos picos de temperatura, mas apresenta limitações diante da alta umidade e da variabilidade climática. Nessa condição, embora a estratégia seja relevante torna-se necessário associá-la a outras soluções.

Na Tabela 22 apresentam-se os resultados de comparação entre o módulo referencial (MR) e os módulos de melhor desempenho térmico para cada localidade em um no cenário de inverno.

Tabela 22 – Cenário Inverno.

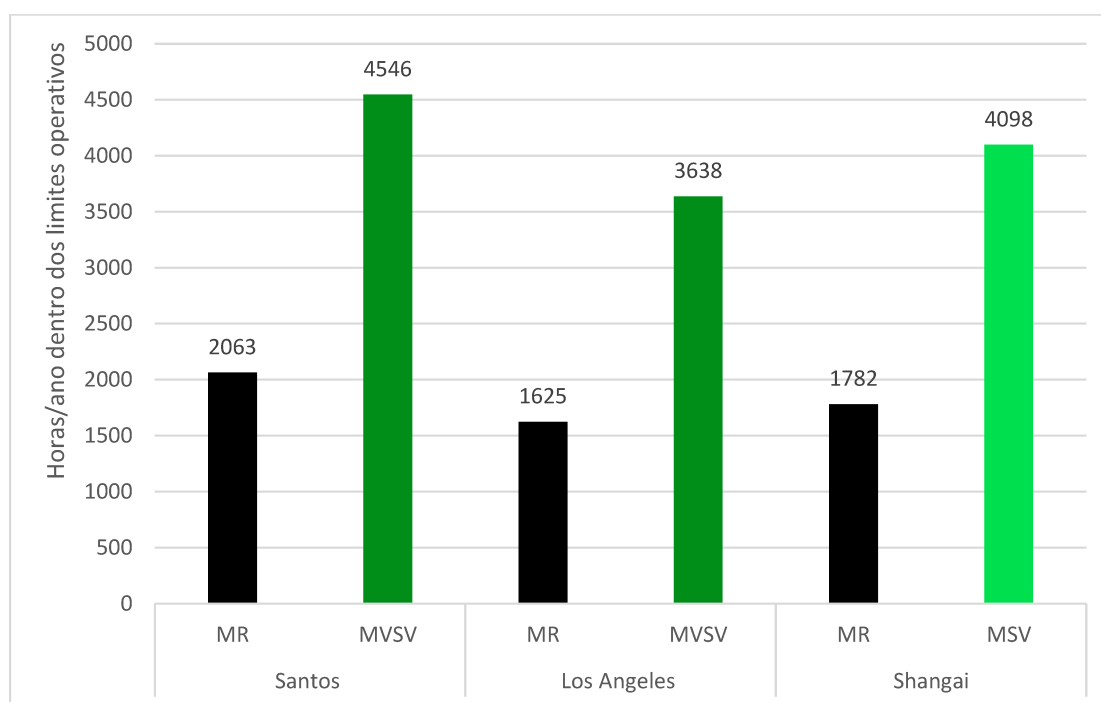
Local	Santos		Los Angeles		Shangai	
	MR	MVSV	MR	MVSV	MR	MSV
Temperatura máxima (°C)	29,43	21,18	30,23	22,26	23,54	17,03
Temperatura mínima (°C)	11,15	14,26	7,92	11,73	0,84	10,86
Amplitude Térmica (°C)	18,27	6,92	22,30	10,52	22,70	6,16

No cenário de inverno o módulo referencial apresentou risco de superaquecimento nas localidades de Santos e Los Angeles, ultrapassando os limites recomendados pelas normativas. Com o uso das estratégias bioclimáticas houve uma redução da amplitude térmica em Santos de 18,27°C (MR) para 6,92°C (MVSV) correspondente a aproximadamente 62,1%. Em Los Angeles de 22,30°C (MR) para 10,52°C (MVSV) representando 52,8% de atenuação. Esses resultados evidenciam a influência das estratégias de ventilação natural associada ao sombreamento, que juntas promovem a dissipação do calor interno e reduzem os ganhos solares diretos, proporcionando maior estabilidade térmica diária.

Em Shangai, observa-se redução da amplitude de 22,70°C (MR) para 6,17°C (MSV), o que equivale a uma contração expressiva de aproximadamente 72,8%. Este resultado está diretamente ligado a retenção principalmente nos períodos da madrugada onde as temperaturas mínimas atingiram aproximadamente 0°C no módulo sem estratégias. Com o uso das estratégias obteve-se ganho térmico de aproximadamente 10°C nesses períodos. Desta maneira, o potencial da cobertura verde como elemento de inércia térmica é reforçado, sendo altamente eficaz na redução dos picos térmicos, mesmo em condições de alta umidade.

Na Figura 57 é possível observar o impacto anual das estratégias adotadas de acordo com o número de horas em que os módulos se encontram dentro dos limites de temperatura estabelecidos pelas normativas.

Figura 58 - Horas/ ano dentro dos limites operativos.



A análise do gráfico anual de horas dentro dos limites operativos evidencia ganhos expressivos de desempenho térmico quando comparados os módulos otimizados em relação ao módulo de referência (MR), em todas as localidades estudadas. Em Santos, observa-se um aumento de 2483 horas, em Los Angeles houve 2013 horas e em Shangai 2316 horas em relação ao módulo referencial. De modo geral, o gráfico demonstra que as estratégias bioclimáticas ajustadas as características climáticas locais, podem ampliar significativamente o desempenho térmico em contexto anual.

6. CONCLUSÕES

A análise do desempenho térmico dos módulos simulados para as três localidades estudadas, Santos (AF), Los Angeles (Csa) e Shanghai (Cfa), evidencia que o desempenho térmico das habitações emergenciais em contêiner é condicionado pela interação entre as características climáticas, as propriedades termo energéticas do invólucro metálico e a adequação das estratégias bioclimáticas adequadas. Observou-se que o Módulo Referencial (MR) apresenta desempenho limitado em todas as zonas analisadas, corroborando com Mustapha et al. (2023) e Fariña (2024), que apontam o aço como material de elevada condutividade térmica e baixa inércia, o que tende a amplificar tanto os ganhos quanto as perdas de calor. As variações térmicas identificadas nas simulações reforçam que somente o uso de isolamento em lã mineral na envoltória não é suficiente para garantir a estabilidade térmica, sobretudo durante os períodos críticos de insolação.

Em Santos observa-se acentuada elevação das temperaturas internas nos horários críticos, particularmente em módulos com menor capacidade de sombreamento ou ventilação natural, reforçando as discussões sobre a necessidade de estratégias bioclimáticas que reduzam os ganhos térmicos em locais com alta carga solar anual. Os módulos que apresentaram melhor desempenho foram capazes de manter a temperatura operativa dentro dos limites durante os períodos de maior incidência solar, evidenciando que intervenções na envoltória, como aumento da refletância superficial, dispositivos de sombreamento e ventilação natural podem mitigar o risco de superaquecimento. Devido as características climáticas desta localidade o módulo apresenta risco de superaquecimento tanto no inverno quanto no verão, quando faz uso apenas do isolante de lã mineral na envoltória. O uso das estratégias de sombreamento, ventilação natural e cobertura verde, permitiram uma redução na carga térmica de 14,47°C no verão, e 8,24°C no inverno, nos períodos de maior exposição solar.

Em Los Angeles, os resultados demonstraram maior estabilidade térmica ao longo do ano, sobretudo nos módulos com ventilação otimizada e estratégias de sombreamento. Os módulos MVSV E MVSI apresentaram maior número de horas anuais dentro dos intervalos operativos recomendados, confirmando a eficácia de soluções que combinam isolamento térmico e estratégias de dissipação de calor. Esse comportamento está alinhado às proposições da literatura que destacam a importância da interação entre isolamento e ventilação para melhor desempenho térmico. Com a associação das estratégias de sombreamento, ventilação natural e telhado verde, representadas pelo módulo MVSV, foi possível reduzir a temperatura máxima em até ,01 No

cenário de inverno é possível reduzir a carga térmica em até 9,19°C no período de maior insolação, e no período de temperaturas mais baixas que ocorre durante a madrugada, o ganho térmico de 2,01°C provocou aumento da temperatura de 7,92°C para 9,93°C. Desta maneira observa-se que a combinação destas estratégias é capaz de reduzir as variações térmicas no interior ao longo do dia, tornando o módulo adequado ao uso.

Para Shanghai, os módulos apresentaram maiores limitações, sobretudo devido à perda térmica durante as madrugadas de inverno. Apesar disso, alguns módulos apresentaram desempenho térmico satisfatório nos horários críticos, mantendo temperaturas dentro dos limites mesmo sob alta carga solar no período diurno. Além do risco de superaquecimento do módulo no verão, nesta localidade há uma preocupação devido as baixas temperaturas no inverno. Os resultados demonstram que o uso das estratégias de sombreamento e cobertura verde contribuíram significativamente para as duas estações, provocando uma redução térmica de 11,81°C no verão e 6,27°C no inverno, durante os períodos de maior exposição solar. Além disso durante as madrugadas de inverno onde as temperaturas internas do módulo, com uso apenas de isolante, chegavam próximas a 0°C, apresentando necessidade de aquecimento mecânico, com o uso das estratégias foi possível obter um ganho de 9,92°C, elevando a temperatura interna para 10,76°C, condição favorável ao uso ainda que sem aquecimento.

Os resultados para todas as cidades analisadas evidenciam que a cobertura verde foi a estratégia de melhor desempenho térmico, reduzindo de forma mais expressiva as temperaturas internas sob condições de elevada carga solar, resultado coerente com sua maior capacidade de inércia térmica e retenção de umidade. A ventilação natural mostrou-se eficaz na promoção das trocas de ar entre os ambientes interno e externo, contribuindo para o resfriamento do módulo sempre que as condições climáticas externas se apresentaram favoráveis, devendo, portanto, ser empregada conforme a necessidade de dissipação ou retenção de calor, o que é possível por se tratarem de aberturas com controle manual do ser humano. O sombreamento demonstrou eficiência consistente em todos os cenários simulados, mitigando significativamente os ganhos térmicos associados à radiação solar direta, sobretudo nos horários críticos. As coberturas reflexiva e isolada também apresentaram melhorias relevantes no desempenho térmico quando comparadas ao módulo original, reduzindo a transferência de calor pela cobertura e contribuindo para a manutenção de temperaturas internas mais estáveis. Esses comportamentos confirmam a relevância das estratégias bioclimáticas aplicadas, especialmente em contextos em que a radiação

direta representa parcela expressiva dos ganhos térmicos, reforçando a replicabilidade e adequação dos resultados às diferentes zonas climáticas estudadas.

A utilização da classificação Köppen–Geiger como parâmetro de seleção climática permite que a metodologia utilizada seja replicada para outras localidades pertencentes às mesmas tipologias bioclimáticas. Sendo assim, outras cidades de classificação AF preveem resultados semelhantes aos de Santos, cidades Csa tendem a apresentar resultados semelhantes ao de Los Angeles, e cidades Cfa replicariam o padrão térmico identificado em Shangai.

A presente pesquisa apresenta algumas limitações ao método de simulação adotado e às simplificações necessárias para compatibilizar o modelo BIM com o ambiente BES. Entre elas, destaca-se a não consideração de cargas internas complexas, como variações dinâmicas de ocupação, equipamentos, que poderiam alterar o balanço térmico do módulo. A ausência de uma ocupação real implica que o comportamento avaliado corresponde a um cenário idealizado a partir das propostas normativas, o que pode diferir do desempenho observado em situações reais de uso. Outra limitação relevante refere-se a não avaliação dos consumos energéticos decorrentes das estratégias simuladas. Embora o foco tenha sido o comportamento térmico e a permanência dentro da faixa de temperaturas operativas, a ausência de análises de consumo impossibilita estimar os impactos sobre a eficiência energética.

Além disso, a simplificação geométrica adotada para possibilitar a interoperabilidade BIM/BES reduz a fidelidade de alguns elementos construtivos, como a placa de aço corrugado utilizada na camada externa do contêiner, podendo suavizar efeitos térmico associados a pontes térmicas. Da mesma forma, a análise dos cenários se restringe a eventos representativos (solstícios) e reduz a compreensão de eventuais variações térmicas intermediárias ao longo do ano. Apesar dessas limitações, os resultados obtidos permanecem válidos dentro do escopo da investigação, contribuindo para o entendimento do comportamento térmico de habitações emergenciais em contêineres. Reforça-se a necessidade de cautela na replicabilidade para edificações com maior complexibilidade arquitetônica, maiores cargas internas ou diferentes padrões de ocupação, pois tais fatores podem alterar o desempenho térmico observado.

Considerando as limitações identificadas e os avanços metodológicos necessários, recomenda-se que estudos futuros integrem avaliações experimentais em protótipos construídos, permitindo calibrar e validar os modelos de simulação utilizados nesta pesquisa. Ensaio em campo possibilitariam compreender com maior precisão as interações entre os componentes da envoltória, as condições ambientais reais e o comportamento térmico da edificação, reduzindo

incertezas inerentes às simulações. Uma segunda possibilidade de aprofundamento consiste na incorporação de materiais de mudança de fase (PCM) às soluções de cobertura e paredes, estratégia reconhecida pela literatura como eficaz para reduzir as amplitudes térmicas e retardar picos de temperatura. A investigação experimental e computacional desses materiais em conjunto com estratégias bioclimáticas pode produzir resultados promissores para climas quentes e úmidos, bem como para regiões com grandes amplitudes diárias. Sugere-se, ainda, a ampliação das análises para contemplar a variabilidade anual completa, considerando diferentes perfis de ocupação e cargas internas compatíveis a habitações emergenciais. A estratégia de ventilação natural, adotada neste estudo considerou aberturas totalmente abertas ou totalmente fechadas, tornando-se aplicável um novo estudo que considere diferentes percentuais de abertura ao longo do dia. Ainda, a integração de estratégias ativas, como ventilação mecânica controlada, exaustão noturna assistida ou resfriamento evaporativo, especialmente quando as estratégias se mostram insuficientes em determinados contextos bioclimáticos pode ser um outro estudo a ser realizado. Por fim, recomenda-se estudos que avaliem a viabilidade econômica e o ciclo de vida das soluções propostas, combinando desempenho térmico, custo de implantação, manutenção e impacto ambiental. Uma abordagem multicritério permitiria comparar as alternativas de forma mais abrangente e apoiar decisões de projeto voltadas à implementação de habitações emergenciais com maior eficiência e sustentabilidade.

Os resultados obtidos reforçam a relevância técnica das estratégias bioclimáticas aplicadas a habitações em contêineres, bem como evidenciam seu potencial impacto social, ao viabilizar soluções habitacionais mais adequadas para contextos emergenciais e populações em situação de vulnerabilidade. A abordagem metodológica adotada, baseada na integração BIM/BES e na análise comparativa entre zonas bioclimáticas apresenta elevado potencial de replicabilidade em escala global, permitindo sua aplicação em contextos geográficos distintos com as devidas adaptações locais. Além disso, ao priorizar o uso de estratégias bioclimáticas de projeto, eficiência do desempenho térmico e economia circular, o estudo contribui diretamente para promoção da sustentabilidade urbana, ao reduzir a dependência de sistemas ativos de climatização e reaproveitando resíduos de outro setor. Por fim, destaca-se a contribuição da pesquisa para o desenvolvimento de habitações mais resilientes às mudanças climáticas, capazes de responder de forma eficiente às variações térmicas e aos eventos extremos, consolidando-se como alternativa promissora para o futuro das habitações de caráter emergencial e de interesse social.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS. Boletim Estatístico Aquaviário: [número] trimestre de 2023. Brasília, DF: ANTAQ, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/antag/pt-br/central-de-conteudos/estudos-e-pesquisas-da-antag-1/boletim-aquaviario>

ALI, M.; KHAN, R. Hygrothermal assessment of insulation systems for steel modular and container-based housing in diverse climates. *Construction and Building Materials*, [S.l.], v. 375, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132228>

ALONSO, M. J.; DOLS, W. S.; MATHISEN, H. M. **Using co simulation between EnergyPlus and CONTAM to evaluate recirculation based, demand controlled ventilation strategies in an office building.** *Building and Environment*, [S.l.], v. 211, art. 108737, 2021. DOI: 10.1016/j.buildenv.2021.108737. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108737>

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. ANSI/ASHRAE Standard 55-2020: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Peachtree Corners, GA: ASHRAE, 2020. Disponível em: <https://www.ashrae.org/technical-resources/standards-and-guidelines/read-only-versions-of-ashrae-standards>

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS; ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY. ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2022: Energy Standard for Sites and Buildings Except Low-Rise Residential Buildings. Peachtree Corners, GA: ASHRAE, 2022. ISSN 1041-2336. Disponível em: <https://www.ashrae.org/technical-resources/90-1-portal>.

ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; BASTOS, E. A.; BARROS, A. H. C.; SILVA, C. O. da; GOMES, A. A. N.. **Classificação climática e regionalização do semi-árido do Estado do Piauí sob cenários pluviométricos distintos.** *Revista Ciência Agronômica*, Fortaleza, v. 36, n. 2, p. 143–151, maio/ago. 2005. Disponível em: <https://periodicos.ufc.br/revistacienciaagronomica/article/view/83622>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15220-2:2022, versão corrigida:2023: desempenho térmico de edificações — Parte 2: componentes e elementos construtivos das edificações — resistência e transmitância térmica — métodos de cálculo (ISO 6946:2017 MOD). Rio de Janeiro: ABNT, 2022. Disponível em: <https://www.target.com.br/produtos/normas-tecnicas/27316/nbr15220-2-desempenho-termico-de-edificacoes-parte-2-componentes-e-elementos-construtivos-das-edificacoes-resistencia-e-transmitancia-termica-metodos-de-calculo-iso-6946-2017-mod>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15575-1:2021: edificações habitacionais — desempenho — Parte 1: requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2021. Disponível em: <https://www.target.com.br/produtos/normas-tecnicas/40674/nbr15575-1-edificacoes-habitacionais-desempenho-parte-1-requisitos-gerais>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ProjeteEEE – Projetando Edificações Energeticamente Eficientes**. Brasília: MMA/UFSC, 2017. Disponível em: <https://www.mme.gov.br/projeteee/estrategias-bioclimaticas/>

AYAWARDANA, J.; SANDANAYAKE, M.; KULATUNGA, A. K.; JAYASINGHE, J. A. S. C.; ZHANG, G.; OSADITH, S. A. U. Evaluating the Circular Economy Potential of Modular Construction in Developing Economies — A Life Cycle Assessment. *Sustainability*, v. 15, n. 23, 2023. DOI: 10.3390/su152316336. <https://doi.org/10.3390/su152316336>

ATTIA, S. **Net zero energy buildings (NZEB): concepts, frameworks and roadmap for project analysis and implementation**. Cambridge, MA: Butterworth-Heinemann/Elsevier, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/C2016-0-03166-2>.

AUTODESK. **Autodesk CFD 2024 – Computational Fluid Dynamics software**. [S.l.]: Autodesk, 2024. Disponível em: <https://www.autodesk.com/products/cfd/overview>.

AYOADE, J. O. **Climate change: a synopsis of its nature, causes, effects and management**. Ibadan: Vantage Publishers, 2003. 124 p. Disponível em: <https://sci.ui.edu.ng/node/1549>.

BECK, H. E. *et al.* **Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution**. *Scientific Data*, v. 7, n. 101, p. 1–13, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41597-020-00616-w>

BENNETT, W. G. *et al.* **Modelling compound flooding in Jakarta: a case study**. *Journal of Hydrology*, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023>.

BERTOLINI, M.; GUARDIGLI, L. **Upcycling shipping containers as building components: an environmental impact assessment**. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, [S.l.], v. 25, n. 6, p. 947–963, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11367-020-01747-3>

BUGES, N. L.; STUMPO, L. F. A.; PORTO, F. H. F. S.; LÓPEZ, V.; ANDREASI, W. A. **A eficiência energética de contêiner adaptado como residência nos diversos climas do Brasil**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 15., 2014, Maceió. Anais [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2014. p. 183–191. DOI: <https://doi.org/10.17012/entac2014.130>

CABEZA, L. F.; *et al.* Phase change materials for improving thermal comfort in modular and container-based constructions: an updated review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [S.l.], v. 194, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113251>.

CAETANO, L. F.; SOUZA, H. A.; GOMES, A. P. **Effect of the exposed steel structure on the thermal performance of buildings**. *Architectural Engineering and Design Management*, v. 18, n. 1, p. 38–55, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1080/17452007.2020.1833828>.

CALDAS, L. R.; ABREU-HARBICH, L. V.; HORA, K. E. R. Avaliação ambiental de alternativas construtivas de um edifício contêiner. *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, Campinas, v. 11, e020008, 2020. DOI: [10.20396/parc.v11i0.8654887](https://doi.org/10.20396/parc.v11i0.8654887).

CALLE MÜLLER, C. Addressing Post-Disaster Challenges and Fostering Social Recovery: Sustainable Temporary Housing Solutions. *Sustainability*, v. 16, n. 4, 2024. <https://doi.org/10.3390/su16083415>

CAMILOTTI, Â. T. Análise do desempenho térmico de construções em contêineres. 2023. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 19 abr. 2023. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/102/102131/tde-12052023-162746/>.

CARELLI, T. D. da C.; ROLA, S. M. **Conforto térmico de uma unidade habitacional em contêiner marítimo na cidade do Rio de Janeiro**. Sustentabilidade: Diálogos Interdisciplinares, Campinas, v. 3, p. 1–11, 2022. DOI: 10.24220/2675-7885v3e2022a5526.

CLIMATE-X. Hamburg's Flood Risk Management: HafenCity & Climate Resilience. 2024. Disponível em: <https://www.climate-x.com/articles/industry/hamburg-flood-risk-management-hafencity-climate-resilience>.

CLIMATE CHANGE POST. Coastal floods – Germany. 2024. Disponível em: <https://www.climatechangepost.com/countries/germany/coastal-floods/>.

CONTAINER XCHANGE. CAx – Container Availability Index. Hamburg: Container xChange, 2023. Disponível em: <https://help.container-xchange.com/hc/en-us/articles/360005102997-CAx-Container-Availability-Index>.

CUI, Y.; ZHANG, Y. Application of PCM-enhanced insulation panels for thermal regulation in refurbished container housing. *Journal of Building Engineering*, [S.l.], v. 80, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.108689>.

DA COSTA, B. B. F. *et al.* Simulation and analysis of thermal insulators applied to post-disaster temporary shelters in tropical countries. *Designs*, v. 7, n. 3, art. 64, 2023. DOI: [10.3390/designs7030064](https://doi.org/10.3390/designs7030064)

DAEMEI, A. B.; EGHBALI, S. R.; KHOTBEHSARA, E. M. **Bioclimatic design strategies: A guideline to enhance human thermal comfort in Cfa climate zones**. *Journal of Building Engineering*, [S.l.], v. 25, p. 100758, set. 2019. DOI: 10.1016/j.jobe.2019.100758. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100758>

DE LA HOZ-TORRES, M. L. *et al.* Predictive model of clothing insulation in naturally ventilated educational buildings. *Buildings*, Basel, v. 13, n. 5, p. 1–16, 2023. DOI: 10.3390/buildings13051263. <https://doi.org/10.3390/buildings13051263>

DE MASI, R. F.; DE ROSSI, F.; GIGANTE, A.; RUGGIERO, S.; VANOLI, G. P. **Design of new energy-efficient temporary facilities for emergency housing: An Italian case**. *Journal of Building Engineering*, [S.l.], v. 80, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.107945>.

DESIGNBUILDER SOFTWARE LTD. **DesignBuilder 2024 – Energy modelling software for buildings**. [S.l.]: DesignBuilder Software Ltd., 2024. Disponível em: <https://designbuilder.co.uk>.

DODMAN, D. et al. **Cities, settlements and key infrastructure**. In: PÖRTNER, H.-O. et al. (ed.). *Climate Change 2022: impacts, adaptation and vulnerability: contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge; New York: Cambridge University Press, 2022. p. 907–1040. DOI: 10.1017/9781009325844.008.

ELAOUZY, Y.; EL FADAR, A. **Impact of key bioclimatic design strategies on buildings' performance in dominant climates worldwide**. *Energy for Sustainable Development*, [S.l.], v. 68, p. 532–549, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.esd.2022.05.006>.

ELRAYIES, G. M. **Thermal performance assessment of shipping container architecture in hot and humid climates**. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, v. 7, n. 4, p. 1114–1126, 2017. DOI: 10.18517/ijaseit.7.4.2235.

EUROPEAN COMMISSION. *Container shipping: supply and demand 2020–2022*. Brussels, 2023. Disponível em: https://competition-policy.ec.europa.eu/system/files/2023-10/submission_from_dg_comp_to_the_european_parliament_on_liner_shipping_2020-2022.pdf.

FARIÑA, E. A. *Energy analysis and environmental assessment of standardized shipping containers for alternative constructive uses*. *Sustainability*, [S.l.], v. 16, n. 4, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su16041743>

FARIÑA, E. A.; PANAIT, M.; LAGO CABO, J. M.; FERNÁNDEZ GONZÁLEZ, R. **Energy Analysis of Standardized Shipping Containers for Housing**. *Inventions*, v. 9, n. 5, p. 106, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/inventions9050106>.

FIGAJ, R. D.; LAUDIERO, D. M.; MAURO, A. **Climate characterization and energy efficiency in container housing: analysis and implications for container house design in European locations**. *Energies*, [S.l.], v. 17, n. 12, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en17122926>.

FILIPPÍN, C.; RICARD, F.; FLORES LARSEN, S.; SANTAMOURIS, M. **Retrospective analysis of the energy consumption of single-family dwellings in central Argentina. Retrofitting and adaptation to the climate change**. *Renewable Energy*, [S.l.], v. 101, p. 1226–1241, 2017. DOI: 10.1016/j.renene.2016.09.064. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.09.064>

FUNCHAL, M. **Panorama da movimentação de cargas marítimas**. In: FUNCHAL, M. Marcio Funchal. 9 ago. 2023. Disponível em: <https://www.marciofunchal.com.br/post/panorama-da-movimenta%C3%A7%C3%A3o-de-cargas-mar%C3%ADtimas>.

GHISI, E.; GOSCH, S.; LAMBERTS, R. **Electricity end-uses in the residential sector of Brazil**. *Energy Policy*, v. 35, n. 8, p. 4107–4120, 2007. DOI: 10.1016/j.enpol.2007.02.020.

HAQUE, M. O.; AMAN, J.; MOHAMMAD, F. **Construction sustainability of container-modular-housing in coastal regions towards resilient community**. *Built Environment Project and Asset Management*, [S.l.], v. 12, n. 3, p. 467–485, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/BEPAM-01-2021-0011>.

HARKOUSS, Fatima; FARDOUN, Farouk; BIWOLE, Pascal Henry. **Passive design optimization of low energy buildings in different climates.** Energy, v. 165, p. 591–613, 2018. DOI: 10.1016/j.energy.2018.09.019.

HEMMATI, F.; TARIKU, F. **Review of the sky temperature and solar decomposition and their impact on thermal modeling.** Science and Technology for the Built Environment, v. 25, n. 9, p. 1237–1243, 2019. DOI: 10.1080/23744731.2019.1629242.

HONG, Yan. **A study on the condition of temporary housing following disasters: focus on container housing.** Frontiers of Architectural Research, [S.l.], v. 6, n. 3, p. 374–383, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095263517300250>. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2017.04.005>

HUANG, L.; HAMZA, N.; LAN, B.; ZAHL, D. **Climate responsive design of traditional dwellings in the cold arid regions of Tibet and a field investigation of indoor environments in winter.** Energy and Buildings, [S.l.], v. 128, p. 697–712, set. 2016. DOI: 10.1016/j.enbuild.2016.07.006. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.07.006>

IBRAHIM, A.; ALSUKKAR, M.; DONG, Y.; SALEEM, F.; HAMZA, A.; HU, P.; HU, M.; HU, M. **Enhancing energy efficiency in shipping container house: a novel approach using hybrid louver systems.** Energy and Built Environment, [S.l.], 12 nov. 2024. DOI: 10.1016/j.enbenv.2024.11.003. <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2024.11.003>

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Buildings. Paris: IEA, 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/energy-system/buildings>

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 17772-1:2017 – Energy performance of buildings – Indoor environmental quality – Part 1: Indoor environmental input parameters for the design and assessment of energy performance of buildings.** Genebra: ISO, 2017. Disponível em: www.iso.org

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO/TC 104/SC 1/WG 1 – Freight containers – General purpose containers – Working Group 1.** Genebra: ISO, [s.d.]. Disponível em: <https://www.iso.org/committee/51166.html>

JAMANTHA – Dal Ponte & Soccol Ltda. *Mantas Térmicas para Telhados – EA 106 (4 mm).* Veranópolis, RS: Jamantha, s.d. Disponível em: <https://www.jamantha.com.br/produtos/1/mantas-termicas-para-telhados/ea-106-4mm>.

JIN, R.; HONG, J.; ZUO, J.. **Environmental performance of off-site constructed facilities: a critical review.** Energy and Buildings, v. 207, art. 109567, 2020. DOI: 10.1016/j.enbuild.2019.109567

KAMALI, M; HEWAGE, K. N.; SADIQ, R. **Conventional versus modular construction methods: a comparative cradle to gate LCA for residential buildings.** Energy and Buildings, [S.l.], v. 204, p. 109479, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109479>.

KOÇ, S. G.; MAÇKA KALFA, S. **The effects of shading devices on office building energy performance in Mediterranean climate regions.** Journal of Building Engineering, [S.l.], v. 44, p. 102653, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102653>.

KOTTEK, M.; GRIESER, J.; BECK, C.; RUDOLF, B.; RUBEL, F. **World Map of the Köppen–Geiger climate classification updated.** Meteorologische Zeitschrift, [S.l.], v. 15, p. 259–263, 2006. DOI: 10.1127/0941-2948/2006/0130.

KRÜGER, E. L.; TAMURA, C. A. **Efeito de uma onda de calor na aclimação no curto prazo durante experimentos suportados por câmara climática.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 18, n. 1, p. 491–501, jan./mar. 2018. DOI: 10.1590/s1678-86212018000100234

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura.** 3. ed. Rio de Janeiro: ELETROBRÁS/PROCEL, 2014. Disponível em: <https://labeee.ufsc.br/publicacoes/livros>.

LAPINSKIENĖ, V.; MOTUZIENĖ, V.; DŽIUGAITĖ-TUMĖNIENĖ, R.; MIKUČIONIENĖ, R. **Impact of internal heat gains on building's energy performance.** In: INTERNATIONAL CONFERENCE “ENVIRONMENTAL ENGINEERING”, 10., 2017, Vilnius. Proceedings [...] Vilnius: VGTU Press, 2017. p. 1–7. DOI: 10.3846/enviro.2017.265.

LI, Y.; CHENG, X.; WANG, F. **Research on the local clothing thermal insulation prediction model with different dress state of indoor occupants.** Energy and Buildings, Amsterdam, v. 314, p. 113197, 2024. DOI: 10.1016/j.enbuild.2024.113197.

LIANG, H.; WANG, S.; LI, Z. **Thermal performance optimization of modified shipping-container housing envelopes using numerical simulation.** Energy and Buildings, [S.l.], v. 298, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113747>.

LIM, H. S.; KIM, J. T.; KIM, G. **Impacto de diferentes posicionamentos de dispositivos de sombreamento no desempenho térmico de edifícios.** In: HAKANSSON, A.; HÖJER, M.; HOWLETT, R.; JAIN, L. (orgs.). **Sustentabilidade em Energia e Edifícios. Inovação Inteligente, Sistemas e Tecnologias**, v. 22. Berlim; Heidelberg: Springer, 2013. DOI: 10.1007/978-3-642-36645-1_94. https://doi.org/10.1007/978-3-642-36645-1_94

LIMA, D. F.; COSTA, A. M. M. Potencial das simulações térmicas como ferramenta de apoio ao projeto arquitetônico em zonas urbanas sustentáveis. *Revista Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 20, n. 3, p. 157–172, jul./set. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212020000300449>.

LIN, H. H.; CHENG, J. H. **A study of the simulation and analysis of the flow field of natural convection for a container house.** Sustainability (Switzerland), [S.l.], v. 12, n. 23, p. 1–28, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su12239845>.

LUAN, X.; ZHANG, W. Microclimatic effects of container green roofs in hot summer and cold winter regions. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MATERIALS, MECHANICAL ENGINEERING AND BIOSCIENCE (MMEBC), 2016. *Proceedings...* Paris: Atlantis Press, 2016. p. 50–55. Disponível em: <https://www.atlantis-press.com/proceedings/mmebc-16/25858874>. Acesso em: 3 jun. 2025.

MACIEL, Ana Carolina Fernandes. **Análise da demanda energética para climatização de fachadas ventiladas para regiões climáticas brasileiras**. 2018. 264 f. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil) — Universidade de Brasília, Brasília, 2018. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/handle/10482/33875>.

MANSANI, R. G. **A influência do isolamento térmico em edificações de container para o conforto térmico dos usuários**. 2023. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 29 ago. 2023. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/32821>.

MANZANO-AGUGLIARO, F.; MONTOYA, F. G.; SABIO-ORTEGA, A.; GARCÍA-CRUZ, A. **Review of bioclimatic architecture strategies for achieving thermal comfort**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22 maio 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.095>.

MARTINS, G. P.; FERREIRA, L. A. F.; GOMES, C. D. Análise do desempenho térmico de habitações de interesse social por meio de simulação computacional em diferentes zonas bioclimáticas brasileiras. *Revista de Arquitetura IMED*, Passo Fundo, v. 11, n. 1, p. 34–51, 2022. DOI: <https://doi.org/10.18256/2318-1109/raimed.v11n1p34-51>.

MATHUR, J.; GARG, V. **Assessment of climate classification methodologies used in building energy efficiency sector**. *Energy and Buildings*, v. 292, 113549, 2023. DOI: [10.1016/j.enbuild.2023.113549](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113549).

MOURA, C. A.; FREITAS, B. B.; ALVES FILHO, A. P.; ALBUQUERQUE, C. **Green Roofs on Shipping Containers: How Substrate Thickness Affects Thermal Performance**. *Buildings*, Basel, v. 14, n. 5, p. 1246, 2024. DOI: [10.3390/buildings14051246](https://doi.org/10.3390/buildings14051246).

MUSTAPHA, F.; EL YASSI, M.; EL ABBASSI, I.; KACI, A.; KADRI, E.; DARCHERIF, A.-M. **Numerical study on the combined use of Corten steel and phase change materials in container-type houses**. *Fluid Dynamics & Materials Processing*, [S.l.], v. 19, n. 4, p. 953–958, 2023. Disponível em: <https://www.techscience.com/fdmp/v19n4/50355/html>. <https://doi.org/10.32604/fdmp.2022.022028>

NÓBREGA, R. S. **Um pensamento crítico sobre classificações climáticas: de Köppen até Strahler**. *Revista Brasileira de Geografia Física*, [S.l.], v. 3, p. 18–22, 2010. Disponível em: <https://www.mendeley.com/catalogue/fab9aa3f-9cec-3cfc-b9ad-8d0dd867d969/> <https://doi.org/10.26848/rbgf.v3i1.232646>

NOTTEBOOM, T.; PALLIS, T.; RODRIGUE, J.-P. **Disruptions and resilience in global container shipping and ports: the COVID-19 pandemic versus the 2008–2009 financial crisis**. *Maritime Economics & Logistics*, v. 23, n. 2, p. 179–210, 2021. DOI: [10.1057/s41278-020-00180-5](https://doi.org/10.1057/s41278-020-00180-5)

NUMA-NAVARRO, I.; WILMSMEIER, G.; GIL, C. **Improving empty container management using street-turn: a case study of the Colombian logistics network**. *Journal of Transport Geography*, v. 112, art. 103709, 2023. DOI: [10.1016/j.jtrangeo.2023.103709](https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2023.103709).

OLIVEIRA, P. H.; ARAÚJO, A. F.; MOURA, J. C.; SOUZA, R. P. **Uso da simulação computacional para avaliação do desempenho térmico em edificações residenciais no Brasil**. Paranoá, Brasília, n. 26, p. 1–21, 2020. DOI: <https://doi.org/10.18830/issn.1679-0944.n26.2020.08>

OLOTO, E.; ADEBAYO, A. K. **Building with shipping containers: a sustainable approach to solving housing shortage in Lagos Metropolis**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INNOVATION IN ARCHITECTURE, ENGINEERING AND CONSTRUCTION, 7., 2012, São Paulo. *Proceedings [...]*. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2012. https://www.academia.edu/71828280/Building_with_Shipping_Containers_A_Sustainable_Approach_to_Solving_Housing_Shortage_in_Lagos_Metropolis?utm_source=chatgpt.com

OVIYA, K.; SHOBANA, A.; AMRAOTKAR, S. **Assessing the thermal performance of upcycled shipping container as a sustainable building material in a warm humid climate**. In: International Conference on Design Innovation, Materials, Structures and Environment (ICDIMSE 2022), 2022, Chennai. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, v. 1210, p. 012008, 2023. DOI: 10.1088/1755-1315/1210/1/012008. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1210/1/012008>

PEDROSA, A. C. V.; FERNANDES, J. L.; FERNANDES, A. S. da C. **Reuso de containers como alternativa sustentável na construção civil**. Revista Tecnológica da Universidade Santa Úrsula – TEC-USU, Rio de Janeiro, v. 7, n. 2, p. 1–14, 2024. Disponível em: <https://revistas.icesp.br/index.php/TEC-USU/article/view/5839>

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; McMAHON, T. A. **Updated world map of the Köppen–Geiger climate classification**. Hydrology and Earth System Sciences, v. 11, p. 1633–1644, 2007. <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>

PEREIRA, M. C.; NASCIMENTO, E. F.; GARCIA, L. M.; SILVA, F. A. **Avaliação de estratégias passivas para habitações emergenciais por simulação termoenergética em clima tropical**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 23, n. 1, p. 131–149, jan./mar. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212023000100673>

PERVEZ, H.; ALI, Y.; PAMUÇAR, D.; GARAI-FODOR, M.; CSISZÁRIK-KOCSIR, Á. **Evaluation of critical risk factors in the implementation of modular construction**. PLoS ONE, [S.l.], v. 17, n. 8, ago. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0272448>

PLANETIZEN. **Living with flooding in a German port town**. 2021. Disponível em: <https://www.planetizen.com/news/2021/12/115655-living-flooding-german-port-town>. Acesso em: 23 jul. 2025.

PORT OF ROTTERDAM AUTHORITY. **Climate adaptation and flood risk management in Rotterdam**. 2023. Disponível em: <https://www.portofrotterdam.com/en/sustainable-port/climate-adaptation>

QIAN, B.; YU, T.; YANG, L. **A method of determining typical meteorological year for evaluating overheating performance of passive buildings**. Building Simulation, v. 16, n. 4, p. 511–526, 2023. DOI: 10.1007/s12273-022-0965-1

RODRIGUE, J.-P. **The Geography of Transport Systems**. 5. ed. New York: Routledge, 2020. DOI: 10.4324/9780429346323.

RODRIGUES, R. F.; SANTOS, T. C.; ALMEIDA, M. S. **Integração entre BIM e simulação térmica no processo de projeto arquitetônico**. *Gestão & Tecnologia de Projetos*, São Carlos, v. 16, n. 2, p. 78–94, 2021. DOI: <https://doi.org/10.11606/gtp.v16i2.191258>.

ROLIM, G. S. *et al.* **Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo**. *Bragantia*, Campinas, v. 66, n. 4, p. 711–720, 2007. DOI: 10.1590/S0006-87052007000400022. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052007000400022>

RUBEL, F.; KOTTEK, M. **Observed and projected climate shifts 1901–2100 depicted by world maps of the Köppen–Geiger classification**. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 747–764, 2011. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2010/0430>

RUBEL, F.; BRUGGER, K.; HASLINGER, K.; AUER, I. **The climate of the European Alps: shift of very high resolution Köppen–Geiger climate zones 1800–2100**. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 26, n. 2, p. 115–125, 2017. DOI: 10.1127/metz/2016/0816

SABER, H. H.; MAREF, W.; GNANAMURUGAN, G.; NICHOLLS, M. **Energy retrofit using vacuum insulation panels: an alternative solution for enhancing the thermal performance of wood-frame walls**. *Journal of Building Physics*, v. 39, n. 1, p. 35–68, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1177/1744259113505748>

SADAGHI, S. M. **Optimization of empty-container operations by demand prediction and repositioning strategies**. *Maritime Economics & Logistics*, [S.l.], 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1057/s41278-024-00279-3>

SANTOS PORT AUTHORITY. Relatório anual 2021. Santos: SPA, 2022. Disponível em: <https://www.portodesantos.com.br/wp-content/uploads/spa-relatorio-anual-2021.pdf>

SCOLARO, T. P.; Ghisi, E.; SILVA, C. M. (2024). **Effectiveness of Cool and Green Roofs Inside and Outside Buildings in the Brazilian Context**. *Sustainability*, v. 16, n. 18, p. 8104, 17 set. 2024. Disponível em: DOI 10.3390/su16188104. <https://doi.org/10.3390/su16188104>

SHAHZAD, W. M.; RAJAKANNU, G.; KORDESTANI GHALENOEI, N. **Potential of modular offsite construction for emergency situations: A New Zealand study**. *Buildings*, Basel, v. 12, n. 11, p. 1970, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/buildings12111970>.

SHEN, J.; COPERTARO, B.; ZHANG, X.; KOKE, J.; KAUFMANN, P.; KRAUSE, S.. **Exploring the potential of climate-adaptive container building design under future climate scenarios in three different climate zones**. *Sustainability*, Basel, v. 12, n. 1, p. 108, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su12010108>.

SHI, M. **Assessment of the impact of windows and building orientation on the energy intensity of container houses using BIM**. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, [S.l.], v. 769, n. 2, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/769/2/022023>.

SONG, D.-P.; DONG, J.-X. **Empty container repositioning**. In: LEE, C.-Y.; MENG, Q. (ed.). *Handbook of Ocean Container Transport Logistics: Making Global Supply Chains Effective*. Cham: Springer, 2015. p. 163–208. DOI: [10.1007/978-3-319-11891-8_6](https://doi.org/10.1007/978-3-319-11891-8_6).

SOUZA, M. R.; BARROS, C. M.; COSTA, L. B. **Eficiência térmica de materiais de vedação em habitações de interesse social: uma análise por simulação computacional**. *Revista Científica da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da FAU-USP, São Paulo*, n. 49, p. 1–18, 2021. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2318-1222.v0i49p1-18>.

SUO, H.; GUAN, X.; WU, S.; FAN, Z. **Energy performance assessment of the container housing in subtropical region of China upon future climate scenarios**. *Energies*, [S.l.], v. 16, n. 1, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en16010503>.

SUPPASRI, A.; NISHIDA, T.; PAKOKSUNG, K.; CHENG, A. C.; CHUA, C. T.; IWASAKI, T.; PESCAROLI, G.; IMAMURA, F. Quantifying tsunami impact on industrial facilities and production capacity in ports: an application to Sendai Port, Japan. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, v. 78, art. 103141, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2022.103141>.

SYNNEFA, A.; SANTAMOURIS, M.; LIVADA, I. **Thermal performance of reflective materials applied to exterior building components – a review**. *Energy and Buildings*, [S.l.], v. 80, p. 81–105, set. 2014. DOI: [10.1016/j.enbuild.2014.05.008](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.05.008).

TAN, C. S.; LING, P. C. H. **Shipping container as shelter provision solution for post-disaster reconstruction**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON CIVIL AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING (ICCEE 2018), 2018, Skudai. *E3S Web of Conferences*, [S.l.], v. 65, p. 08007, 2018. DOI: [10.1051/e3sconf/20186508007](https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186508007).

TORRES-QUEZADA, J.; ISALGUÉ, A.; COCH, H. **Impact of solar reflectivity and infrared emissivity on the thermal performance of metal and concrete roofs in cloudy warm-humid climate**. *Frontiers of Architectural Research*, [S.l.], v. 13, p. 842–857, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foar.2024.03.003>.

UNITED NATIONS CONFERENCE ON TRADE AND DEVELOPMENT (UNCTAD). *Review of Maritime Transport 2023: towards a green and just transition*. Geneva: United Nations, 2023. ISBN 978-92-1-002886-8. Disponível em: <https://unctad.org/publication/review-maritime-transport-2023>

UNITED NATIONS HUMAN SETTLEMENTS PROGRAMME (UN-HABITAT); AXA. **Supporting safer housing reconstruction after disasters: planning and implementing technical assistance at large scale**. Nairobi: UN-Habitat, 2019. 389 p. Disponível em: <https://unhabitat.org/supporting-safer-housing-reconstruction-after-disasters-planning-and-implementing-technical>

UNIVERSITÉ CATHOLIQUE DE LOUVAIN; CENTRE FOR RESEARCH ON THE EPIDEMIOLOGY OF DISASTERS. **Emergency Events Database (EM-DAT)**. Brussels: UCLouvain/CRED, 2025. Disponível em: <https://www.emdat.be/>

VAZ, Carolina Fernandes. *Contribuições da integração BIM/BES para análises de desempenho térmico e conservação de livros em bibliotecas icônicas*. 2022. 149 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2023. DOI: <https://doi.org/10.14393/ufu.di.2023.7012>

VAZ, C. F.; GUILHERME, L. L. F.; MACIEL, A. C. F. **Building Information Modeling/Building Energy Simulation Integration Based on Quantitative and Interpretative Interoperability Analysis**. *Infrastructures*, v. 9, n. 5, art. 84, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/infrastructures9050084>.

VIANA, F. S.; SOUZA, H. A.; GOMES, A. P. **Residência em contêiner: comparativo de estratégias para a melhoria do desempenho térmico**. *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, Campinas, SP, v. 10, e019011, 2019. DOI: <https://doi.org/10.20396/parc.v10i0.8652794>.

WANG, L.; LIU, X.; BROWN, H. Prediction of the impacts of climate change on energy consumption for a medium-size office building with two climate models. *Energy and Buildings*, v. 157, p. 218–226, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.01.007>

XIANG, X.; CHEN, L.; MENG, Q. Tactical vessel deployment and empty-container repositioning: a data-driven optimization approach. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, [S.l.], 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2024.103768>.

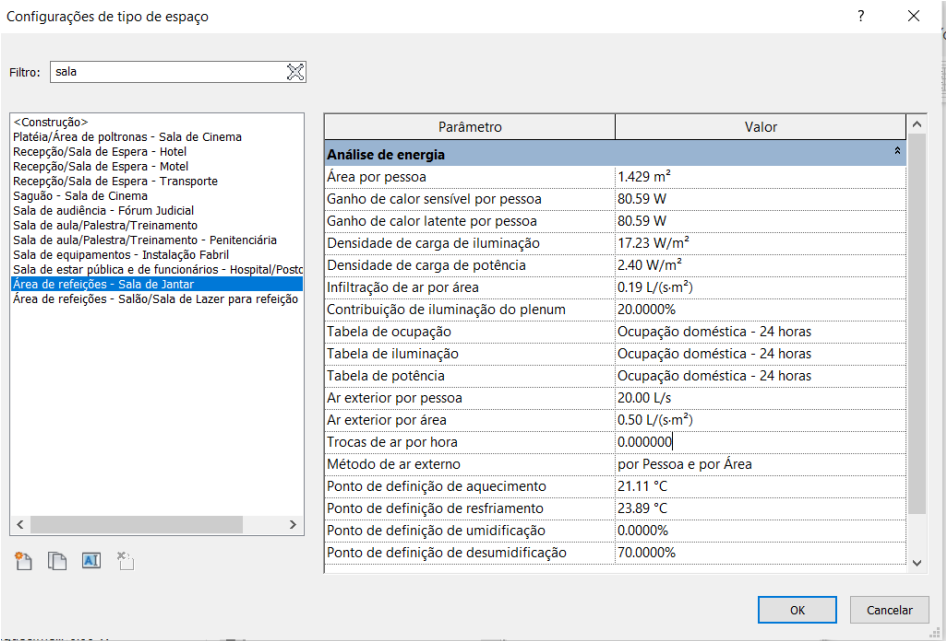
YU, H.; BAI, G. **Research on modularization and sustainable design of temporary housing**. *Art and Design Review*, Dalian, v. 6, p. 125–132, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.4236/adr.2018.63012>.

APÊNDICES

AAPÊNDICE A – CONFIGURAÇÕES DO MODELO ANALÍTICO

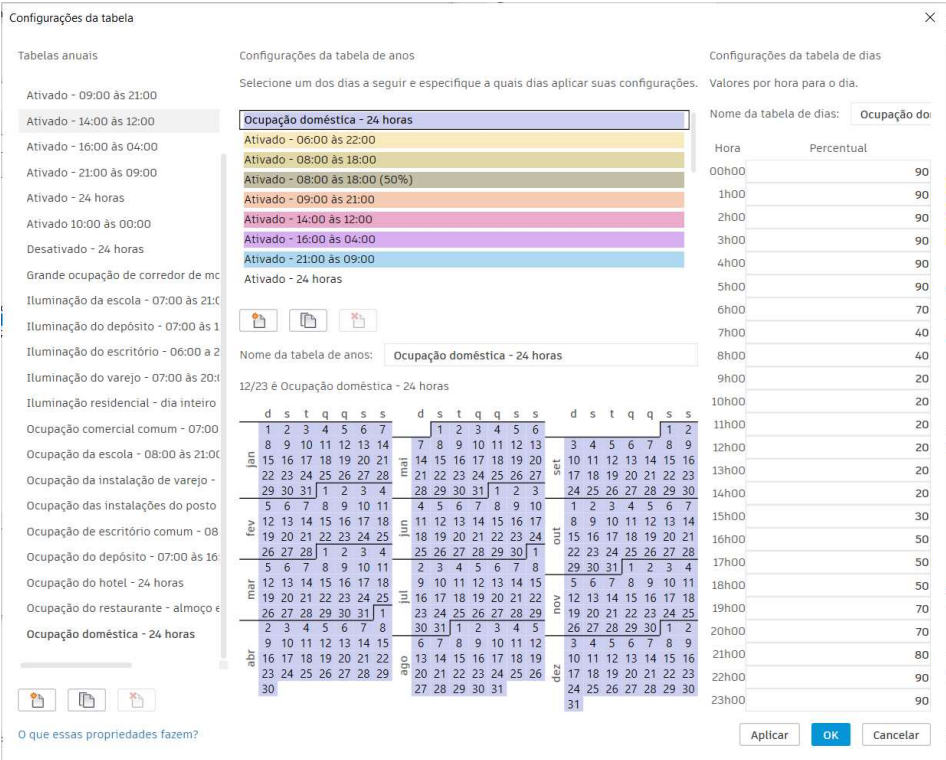
Ajuste dos ganhos e tabelas de ocupação por ambiente para as configurações do modelo analítico.

Configuração da tabela de cargas ambiente Sala/Cozinha.



Fonte: Revit (2025)

Configuração da tabela de ocupação ambiente Sala/Cozinha.



Fonte: Revit (2025)

Configuração da tabela de cargas ambiente quarto.

Configurações de tipo de espaço

Filtro:

<Construção>

Laboratório da Delegacia de Polícia - Delegacia/Quartel

Local de veículos do quartel de bombeiros - Delegacia

Platêia/Área de poltronas - Delegacia de Polícia/Quartel

Quarto de dormir

Quarto de estudos

Quarto de Paciente - Hospital/Posto de Saúde

Quartos de dormir - Delegacia/Quartel de Bombeiros

Parâmetro	Valor
Análise de energia	
Área por pessoa	10.000 m²
Ganho de calor sensível por pessoa	73.27 W
Ganho de calor latente por pessoa	45.43 W
Densidade de carga de iluminação	10.77 W/m²
Densidade de carga de potência	2.40 W/m²
Infiltração de ar por área	0.19 L/(s·m²)
Contribuição de iluminação do plenum	20.0000%
Tabela de ocupação	Ocupação doméstica - 24 horas
Tabela de iluminação	Ocupação doméstica - 24 horas
Tabela de potência	Ocupação doméstica - 24 horas
Ar exterior por pessoa	14.00 L/s
Ar exterior por área	0.50 L/(s·m²)
Trocas de ar por hora	0.000000
Método de ar externo	por Pessoa e por Área
Ponto de definição de aquecimento	21.11 °C
Ponto de definição de resfriamento	23.89 °C
Ponto de definição de umidificação	0.0000%
Ponto de definição de desumidificação	70.0000%

OK

Cancelar

Configuração da tabela de ocupação ambiente quarto.

Configurações da tabela

Tabelas anuais

Ativado - 09:00 às 21:00

Ativado - 14:00 às 12:00

Ativado - 16:00 às 04:00

Ativado - 21:00 às 09:00

Ativado - 24 horas

Ativado 10:00 às 00:00

Desativado - 24 horas

Grande ocupação de corredor de m...

Iluminação da escola - 07:00 às 21:00

Iluminação do depósito - 07:00 às 1...

Iluminação do escritório - 06:00 a 2...

Iluminação do varejo - 07:00 às 20:00

Iluminação residencial - dia inteiro

Ocupação comercial comum - 07:00

Ocupação da escola - 08:00 às 21:00

Ocupação da instalação de varejo -

Ocupação das instalações do posto

Ocupação de escritório comum - 08

Ocupação do depósito - 07:00 às 16:00

Ocupação do hotel - 24 horas

Ocupação do restaurante - almoço e

Ocupação doméstica - 24 horas

Configurações da tabela de anos

Selecione um dos dias a seguir e especifique a quais dias aplicar suas configurações.

Ocupação doméstica - 24 horas

Ativado - 06:00 às 22:00

Ativado - 08:00 às 18:00

Ativado - 08:00 às 18:00 (50%)

Ativado - 09:00 às 21:00

Ativado - 14:00 às 12:00

Ativado - 16:00 às 04:00

Ativado - 21:00 às 09:00

Ativado - 24 horas

Nome da tabela de anos:

3/5 é Ocupação doméstica - 24 horas

d	s	t	q	q	s	s
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31	1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30	31	1
2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	29
30						

Configurações da tabela de dias

Valores por hora para o dia.

Nome da tabela de dias:

Hora	Percentual
00h00	90
1h00	90
2h00	90
3h00	90
4h00	90
5h00	90
6h00	70
7h00	40
8h00	40
9h00	20
10h00	20
11h00	20
12h00	20
13h00	20
14h00	20
15h00	30
16h00	50
17h00	50
18h00	50
19h00	70
20h00	70
21h00	80
22h00	90
23h00	90

Aplicar

OK

Cancelar

Fonte: Revit (2025)

Configuração da tabela de cargas do banheiro.

Configurações de tipo de espaço

Filtro: Digite as palavras de busca

<Construção>

Aeroporto - Entrada

Alojamentos - Dormitório

Alojamentos - Hotel

Alojamentos - Motel

Armazenagem ativa

Armazenagem ativa - Hospital/Posto de Saúde

Armazenagem inativa

Arquivo de cartões e catalogação - Biblioteca

Aéreo/Trem/Ônibus - Área de bagagens

Banheiros

Barbeiro e Salão de Beleza

Biblioteca - Audiovisual - Biblioteca audiovisual

Celas de confinamento - Fórum Judicial

Celas de confinamento - Penitenciária

Centro Cirúrgico - Hospital/Posto de Saúde

Compartimento de alta capacidade geral - Instalação

Compartimento de baixa capacidade geral - Instalação

Corredor/Transição

Corredor/Transição - Instalação Fabril

Corredores com pacientes aguardando exame - Ho

Culto - Púlpito do Coro - Religioso

Detalhado - Instalação Fabril

Elétrica/Mecânica

Emergência - Hospital/Posto de Saúde

Escadaria

Escadas - Inativa

Parâmetro	Valor
Análise de energia	
Área por pessoa	10.000 m²
Ganho de calor sensível por pessoa	73.27 W
Ganho de calor latente por pessoa	58.61 W
Densidade de carga de iluminação	10.77 W/m²
Densidade de carga de potência	2.40 W/m²
Infiltração de ar por área	0.19 L/(s.m²)
Contribuição de iluminação do plenum	20.0000%
Tabela de ocupação	Ocupação doméstica - 24 horas
Tabela de iluminação	Ocupação doméstica - 24 horas
Tabela de potência	Ocupação doméstica - 24 horas
Ar exterior por pessoa	10.00 L/s
Ar exterior por área	0.50 L/(s.m²)
Trocas de ar por hora	2.000000
Método de ar externo	por Pessoa e por Área
Ponto de definição de aquecimento	21.11 °C
Ponto de definição de resfriamento	23.89 °C
Ponto de definição de umidificação	0.0000%
Ponto de definição de desumidificação	70.0000%

OK

Cancelar

Fonte: Revit (2025).

Configuração da tabela de ocupação do banheiro.

Configurações da tabela

Tabelas anuais

Ativado - 09:00 às 21:00

Ativado - 14:00 às 12:00

Ativado - 16:00 às 04:00

Ativado - 21:00 às 09:00

Ativado - 24 horas

Ativado 10:00 às 00:00

Desativado - 24 horas

Grande ocupação de corredor de mc

Iluminação da escola - 07:00 às 21:00

Iluminação do depósito - 07:00 às 1

Iluminação do escritório - 06:00 a 2

Iluminação do varejo - 07:00 às 20:00

Iluminação residencial - dia inteiro

Ocupação comercial comum - 07:00

Ocupação da escola - 08:00 às 21:00

Ocupação da instalação de varejo -

Ocupação das instalações do posto

Ocupação de escritório comum - 08

Ocupação do depósito - 07:00 às 16:00

Ocupação do hotel - 24 horas

Ocupação do restaurante - almoço e

Ocupação doméstica - 24 horas

Configurações da tabela de anos

Selecione um dos dias a seguir e especifique a quais dias aplicar suas configurações.

Ocupação doméstica - 24 horas

Ativado - 06:00 às 22:00

Ativado - 08:00 às 18:00

Ativado - 08:00 às 18:00 (50%)

Ativado - 09:00 às 21:00

Ativado - 14:00 às 12:00

Ativado - 16:00 às 04:00

Ativado - 21:00 às 09:00

Ativado - 24 horas

Nome da tabela de anos: Ocupação doméstica - 24 horas

12/2 é Ocupação doméstica - 24 horas

d	s	t	q	q	s	s
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31	1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30	31	1
2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	29
30	31	1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	31		

Configurações da tabela de dias

Valores por hora para o dia.

Nome da tabela de dias: Ocupação do

Hora	Percentual
00h00	90
1h00	90
2h00	90
3h00	90
4h00	90
5h00	90
6h00	70
7h00	40
8h00	40
9h00	20
10h00	20
11h00	20
12h00	20
13h00	20
14h00	20
15h00	30
16h00	50
17h00	50
18h00	50
19h00	70
20h00	70
21h00	80
22h00	90
23h00	90

Aplicar

OK

Cancelar

Fonte: Revit (2025).

APÊNDICE B – TEMPLATE DESIGN BUILDER

Configurações do *template* de atividades no Design Builder.

Template de atividades.

Edit activity template - Contêiner (TM59_2-BedLivingKitchen)

The screenshot shows the 'Activity templates' window with the 'General' tab selected. The template name is 'Contêiner (TM59_2-BedLivingKitchen)'. The description is empty. The source is empty. The category is 'Residential spaces'. The region is 'General'. The sector is 'Residential spaces'.

Property	Value
Name	Contêiner (TM59_2-BedLivingKitchen)
Description	
Source	
Category	Residential spaces
Region	General
Sector	Residential spaces

Fonte: Design Builder.

Configuração dos ganhos.

Edit activity template - Contêiner (TM59_2-BedLivingKitchen)

The screenshot shows the 'Activity templates' window with the 'All Gains' tab selected. The power density is set to 2.4 W/m².

Property	Value
Power density (W/m²)	2.4

Configurações de ocupação.

Edit activity template - Contêiner (TM59_2-BedLivingKitchen)

The screenshot shows the 'Activity templates' window with the 'Occupancy' tab selected. The occupancy details are as follows:

Property	Value
Density (people/m²)	0.0215
Number of people	2.00
Metabolic Heat	
Metabolic rate	TM_59
Metabolic factor (0.85 for women, 0.75 children)	1.00
CO2 generation rate (m³/s-W)	0.0000000382
Latent fraction	0.4230
Clothing	
Workday profile	
On at	0:00
Off at	24:00
Days / week	7
Schedules	
Schedule	TM59_Living/Kitchen_Occ

Configuração de outros ganhos.

Edit activity template - Contêiner (TM59_2-BedLivingKitchen)

Activity templates

General All Gains Occupancy Other Gains **DHW** Environmental control

Computers ☐ On

Office Equipment ☐ On

Miscellaneous ☐ On

Catering ☐ On

Process ☐ On

General Lighting ☒ On

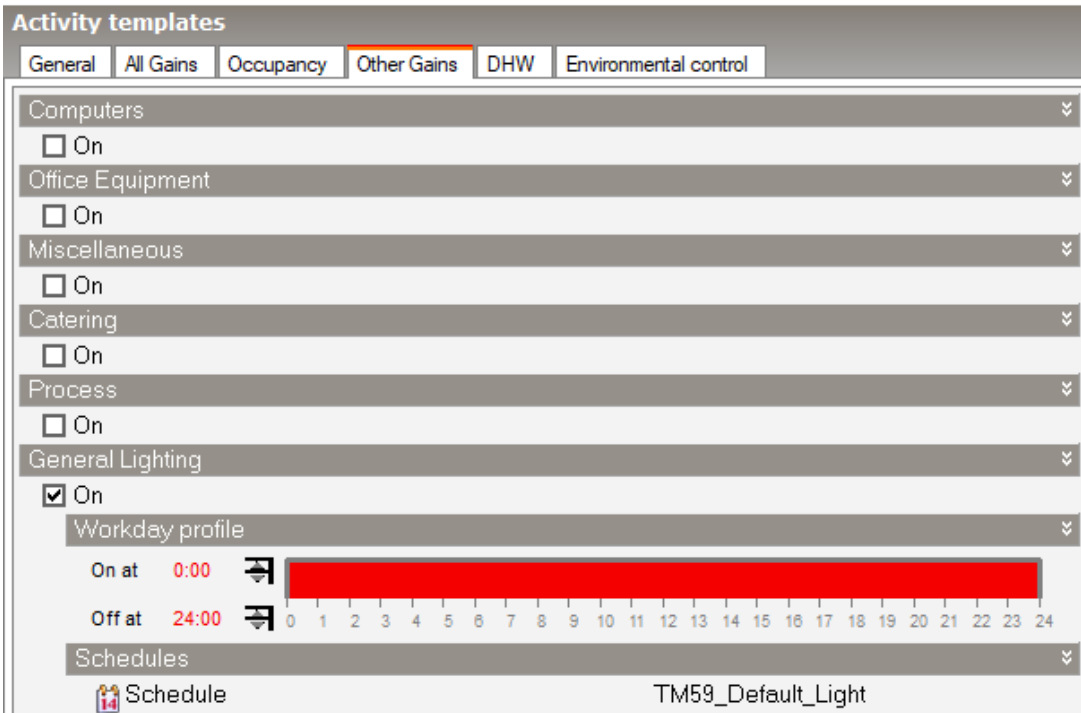
Workday profile

On at 0:00

Off at 24:00

Schedules

 Schedule TM59_Default_Light



Configurações de DHW.

Edit activity template - Contêiner (TM59_2-BedLivingKitchen)

Activity templates

General All Gains Occupancy Other Gains **DHW** Environmental control

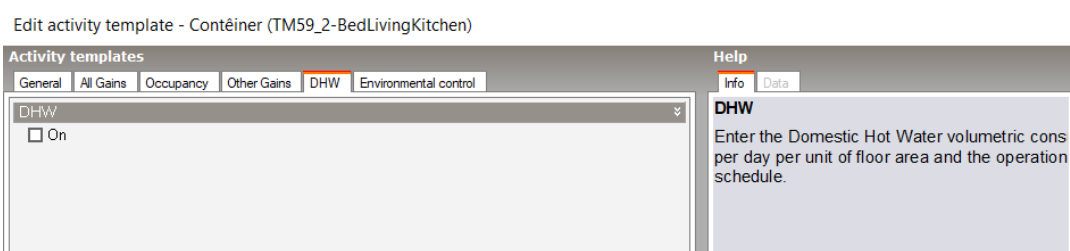
DHW ☐ On

Help

Info Data

DHW

Enter the Domestic Hot Water volumetric cons per day per unit of floor area and the operation schedule.



Configurações de controle ambiental.

Edit activity template - Copy of Residential - Dwelling unit (with kitchen)

Activity templates

General All Gains Occupancy Other Gains DHW Environmental control

Heating

Set point temperature (°C) 20,000

Set back temperature (°C) 13,000

Workday profile

On at 7:00

Off at 18:00

Schedules

 Schedule HtgClgSPSB_default 6:00 - 18:00 Mon -

Cooling

Set point temperature (°C) 26,000

Cooling set back (°C) 32,000

Workday profile

On at 8:00

Off at 18:00

Schedules

 Operation HtgClgSPSB_default 6:00 - 18:00 Mon -

Ventilation Set Point Temperatures

Natural Ventilation

Net. vent. set point (°C) 22,000

 Schedule Residential Occ

Mechanical Ventilation

Mech. vent. set point (°C) 10,000

 Schedule Residential Occ

Lighting

Target Illuminance (lux) 300

Default display lighting density (W/m2) 0,000

Ventilation Fresh Air

Min fresh air (l/s-person) 10

Mech vent per area (l/s-m2) 0,5

Model data

APÊNDICE C – CARGAS DE ILUMINAÇÃO

Configurações dos parâmetros de iluminação realizados no Design Builder.

Ajuste de iluminação para Sala/Cozinha.

Lighting Template

TemplateReference

General Lighting

☒ On

Lighting power density (LPD) (W/m2)

17.2300

Schedule

TM59_Default_Light

Ajuste de iluminação para Banheiro.

Lighting Template

TemplateReference

General Lighting

☒ On

Lighting power density (LPD) (W/m2)

10.7700

Schedule

TM59_Default_Light

Ajuste de Iluminação para o Quarto.

Lighting Template

TemplateReference

General Lighting

☒ On

Lighting power density (LPD) (W/m2)

10.7700

Schedule

TM59_Default_Light