

RESIDÊNCIA EM CONTÊINER: COMPARATIVO DE ESTRATÉGIAS PARA A MELHORIA DO DESEMPENHO TÉRMICO

RESIDENCE IN CONTAINER: COMPARISON OF STRATEGIES FOR IMPROVING THERMAL PERFORMANCE

Françoise Santana Viana ¹

Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, Brasil, francoise_viana@yahoo.com.br

Henor Artur de Souza ²

Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, Brasil, henorster@gmail.com

Adriano Pinto Gomes ³

Instituto Federal de Minas Gerais, Ouro Preto, MG, Brasil, adriano.gomes@ifmg.edu.br

Resumo

A construção civil passa atualmente por desafios em construir de forma mais econômica e ambientalmente correta. Neste trabalho visa-se conhecer melhor o equipamento não convencional utilizado para edificações, o contêiner, avaliando seu desempenho térmico. O contêiner é escolhido como objeto de estudo pois é um módulo que pode ser adaptado para diversos tipos de climas, terrenos e construções. E como no Brasil sua utilização na construção é recente, torna-se necessário uma análise para entender como adaptá-lo de forma eficiente. Neste estudo, a avaliação do desempenho térmico do contêiner é feita via simulação numérica utilizando o programa *Energyplus*, analisando o impacto da ventilação natural e da massa térmica dos fechamentos no comportamento térmico da edificação. São consideradas as condições climáticas para as zonas bioclimáticas 2, 3 e 8, que englobam o litoral brasileiro, previstas na norma NBR 15.220-2005, observando também os requisitos mínimos da norma NBR 15.575-2013. Para o estudo, projetou-se uma casa com dois módulos de contêiner, totalizando uma área de 29,57 m². Os resultados obtidos mostram a necessidade de adaptações para que o contêiner possua habitabilidade em todas as zonas bioclimáticas analisadas. Constata-se que o uso de isolamento térmico nos fechamentos verticais, de uma cobertura termicamente eficiente, de uma fundação adequada e de cores com tons mais claros no fechamento externo proporcionam um melhor desempenho térmico à edificação, para os climas analisados.

Palavras-chave: Contêiner. Desempenho térmico. Simulação numérica.

Abstract

Civil construction is currently facing challenges in building in a more economical and environmentally correct way. In this work, the objective is to know better the non-conventional equipment used for buildings, the container, evaluating its thermal performance. The container is chosen as an object of study because it is a module that can be adapted for different types of climates, land, and buildings. So as in Brazil, its use in construction is recent, an analysis is needed to understand how to adapt it efficiently. In this study, the evaluation of the thermal performance of the container is done through numerical simulation using the *Energyplus* program, analyzing the impact of the natural ventilation and the thermal mass of the enclosure on the building's thermal behavior. Considering the climatic conditions for bioclimatic zones 2, 3 and 8, which encompass the Brazilian coast, provided by NBR 15.220-2005, also observing the minimum requirements of Brazilian standard NBR 15.575-2013. For the study, a house with two modules of a container is designed, totalizing an area of 29.57 m². The results show the need for adaptations of the container to have habitability in all the bioclimatic zones analyzed. The use of thermal insulation in the vertical enclosure, an additional thermally efficient cover, a suitable foundation, and colors with lighter shades on the external enclosure provide better thermal performance to the building, for the analyzed climates.

Keywords: Container. Thermal performance. Numerical simulation.

How to cite this article:

VIANA, Françoise Santana; SOUZA, Henor Artur de; GOMES, Adriano Pinto. Residência em contêiner: comparativo de estratégias para a melhoria do desempenho térmico. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 10, p. e019011, mar. 2019. ISSN 1980-6809. Disponível em:

<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8652794>. Acesso em: 27 mar. 2019.

DOI:<https://doi.org/10.20396/parc.v10i0.8652794>.

Received in 26.06.2018 - accepted in 16.02.2019 – published in 27.03.2019

e019011-1 | **PARC Pesq. em Arquit. e Constr.**, Campinas, SP, v. 10, p. e019011, 2019, ISSN 1980-6809

Introdução

A construção civil consome a maior parte dos recursos naturais do planeta, sendo que madeira, metais, areia, pedras, água potável e energia elétrica representam de 15 a 50% desses recursos (FREITAS, 2009). Segundo o Instituto Brasileiro de Administração Municipal (2001), este também é o setor que mais gera resíduos sólidos no mundo, cerca de 50% de todos os resíduos, sendo o volume de entulho de construção e demolição duas vezes maior que o volume do lixo sólido urbano. Além de utilizar recursos não renováveis, em muitas cidades brasileiras os resíduos gerados pela construção civil têm como destino sítios irregulares, poluindo rios e fontes de água, facilitando a proliferação de vetores de doenças e muitas vezes implicando na obstrução do sistema de drenagem das águas pluviais, causando enchentes.

O contêiner é um equipamento que tem gerado problemas residuais. Com a sua disseminação em larga escala, conseguiu atingir vários setores com o transporte de mercadorias. Mas, como tem vida útil entre 10 e 15 anos e o custo de transporte se torna alto quando ele retorna vazio ao país de origem da mercadoria, costuma ser abandonado no porto de destino, ocupando grandes lotes na sua estocagem e poluindo o porto. O volume anual de contêineres no mundo é imenso: só no porto de Roterdã, na Holanda, um dos maiores do mundo, o volume no ano de 2014 foi de 12,3 milhões de Teus¹ e no Brasil, em 2013, foi de 8,9 milhões de Teus (PIRES, 2015).

A partir dos problemas citados, a construção civil tem buscado estratégias mais sustentáveis, ambientalmente corretas e mais econômicas. Para tanto, tem se usado o contêiner como alternativa de construção das edificações (BUILDING..., 2017).

O contêiner na construção

Uma das aplicações do contêiner tem sido como moradias temporárias em áreas afetadas por terremotos e/ou inundações, principalmente em países europeus e asiáticos (CAIA; VENTIMIGLIA; MAASS, 2010; ABULNOUR, 2014; HONG, 2017). Como moradia temporária, tem como objetivo atender ao maior número de pessoas, rapidamente. Sendo assim, geralmente estas habitações não envolvem instalações essenciais e, portanto, não fornecem uma resposta ambiental adequada aos usuários (FÉLIX; BRANCO; FEIO, 2013). Este tipo de construção tem sido utilizada também como postos militares, banheiros públicos e quiosques (PEÑA; SCHUZER, 2012; ELRAYIES, 2017).

No Brasil, existem estudos sobre a logística do contêiner no transporte de mercadorias, como o trabalho de Lopes, Beltrame e Beltani (2017) e o estudo de Sousa (2016), mas existem poucas publicações sobre o uso do contêiner como moradia. Tem-se exemplo de trabalhos que contemplam o reuso de contêineres na construção de edifícios comerciais (CARBONARI; BARTH, 2015). Em relação ao desempenho térmico deste sistema de construção, também são poucos os estudos existentes no Brasil. Buges et al. (2014) apresentam uma análise do desempenho térmico da envoltória de uma habitação unifamiliar em contêiner, utilizando o método prescritivo do Regulamento Técnico da Qualidade para Edificações Residenciais (RTQ-R) para as zonas bioclimáticas definidas pela norma NBR 15.220-3 (ABNT, 2005a). Os autores verificam que uma cobertura adicional e isolamento térmico nas paredes externas melhoram o desempenho térmico e concluem que este tipo de construção é mais viável para regiões quentes e úmidas, onde a influência da capacidade térmica da envoltória é menor, desde que atendidas às necessidades de aberturas sombreadas. Krebs, Moura e Cunha (2015) fizeram um

estudo paramétrico de dois projetos de contêiner adaptados à moradia unifamiliar. Os autores realizaram 22 simulações numéricas no EnergyPlus variando alguns parâmetros na envoltória da edificação e observaram que houve uma melhora em torno de 67% nas horas anuais em conforto desde que haja uma adequação bioclimática no projeto. Rancura e Alves (2016) fizeram uma análise experimental em uma casa contêiner e observaram que, embora os ambientes internos analisados não tenham atendido, todos os dias, o mínimo de desempenho estabelecido pela NBR 15575 (ABNT,2013), foi considerado viável o uso do contêiner como moradia, desde que sejam incorporadas estratégias passivas adequadas ao clima local.

No entanto, dentre esses trabalhos, ainda existem poucos estudos com simulação numérica ou diretrizes para projetar uma casa contêiner com desempenho térmico adequado aos usuários, considerando a sua região de implantação. As normas brasileiras de desempenho térmico não consideram a construção modular em aço, devendo o construtor se limitar a publicações e normas internacionais. Neste contexto, um dos poucos trabalhos similares a este é o trabalho de Tanyer, Tavukcuoglu e Bekboliev (2018) que avalia a estanqueidade e o seu impacto sobre a eficiência energética de habitações em contêineres na Turquia. Os autores observam que uma vedação adequada nas junções das paredes melhora a estanqueidade e o uso de material isolante térmico nas paredes evita o efeito de ponte térmica e condensação na superfície, reduzindo em 9,3% a demanda anual de energia, para o caso analisado.

Avaliação de desempenho térmico de edificações via simulação numérica

Para determinar como projetar uma residência de contêiner eficiente termicamente é necessário averiguar alguns parâmetros de projeto, e, para isto, é imprescindível o uso de programas de simulação numérica. Os elementos principais dos programas de simulação energética são: as informações climáticas e geográficas, as condições de ocupação, a caracterização da edificação e de seus fechamentos e as interações térmicas entre o ambiente construído e o ambiente externo. Com esses parâmetros, é possível se projetar de forma adequada ao clima local, obtendo um melhor desempenho térmico da edificação.

As informações climáticas são caracterizadas pelos valores horários de temperatura e umidade relativa do ar, radiação solar global e pela velocidade do vento predominante; nos dias típicos de projeto para o período de verão e de inverno. Esses dias são caracterizados em função de suas frequências de ocorrência, que representam níveis de exigência na avaliação. Tem-se adotado a frequência de ocorrência de 10% tanto para o dia típico de verão como para o dia típico de inverno (AKUTSU, 1998; IPT, 1998, ABNT, 2013).

A orientação geográfica e o período do ano interferem na radiação solar incidente. As formas do projeto arquitetônico determinam as entradas de ar da ventilação e seus fluxos no interior da edificação, logo irá influenciar no desempenho térmico e na utilização de equipamentos de refrigeração e/ou aquecimento.

As condições de ocupação produzem as principais fontes internas de calor e são caracterizadas pelo período de ocupação, número de ocupantes, atividades típicas dos ocupantes, taxas de liberação de energia térmica e de vapor d'água de equipamentos e processos no interior do recinto, taxas de ventilação do ambiente e uso de dispositivos de sombreamento de aberturas e fechamentos externos (FANGER, 1972).

Os materiais de fechamento são caracterizados por suas propriedades termofísicas, a condutividade térmica, o calor específico e a massa específica. Para se determinar a resistência térmica são necessárias estas propriedades dos materiais componentes, o que é importante na avaliação do mecanismo de condução através da envoltória da edificação e paredes internas. A absorvância, refletância e transmitância são propriedades significantes para se avaliar o mecanismo de radiação, principalmente através de áreas de vidro e onde a radiação solar incide. Essas informações são necessárias para que se consiga determinar a resposta térmica da edificação.

Nas edificações, os isolamentos térmicos funcionam barrando a transferência de calor através do fechamento. O tipo de cobertura contribui significativamente no desempenho térmico, principalmente por impedir a incidência da radiação solar direta. O contato com o solo influencia na transmissão de calor através da fundação, podendo contribuir bastante no desempenho global da edificação. A absorvância à radiação solar tem relação com o poder de absorção de calor de uma superfície quando a radiação incide sobre esta. É um parâmetro utilizado na avaliação do nível de desempenho térmico da envoltória segundo as diretrizes da norma NBR 15.575 (ABNT, 2013). E a ventilação regula a temperatura interna de uma construção por meio da troca de ar pelas aberturas.

Neste trabalho realiza-se uma análise para se obter as melhores opções de construção que propiciem desempenho térmico em casas contêiner e conseqüentemente conforto térmico ao usuário. É utilizada a simulação numérica para verificar o comportamento da edificação perante a adoção de diferentes parâmetros de projeto. Mostra-se que o contêiner é uma alternativa para resolver o déficit de habitações no Brasil.

A vida útil do contêiner chega aos 90 anos, por isso tem sido usado em larga escala como estrutura para diversas tipologias na construção em várias partes do mundo (LOPES; BELTRAME; BELTANI, 2017). Como ele é basicamente feito de aço, é preciso uma investigação maior de como ele se comporta com a variação dos parâmetros climáticos, em quais climas pode ser mais viável no Brasil e quais as necessidades de modificação para que seja utilizado plenamente como edificação.

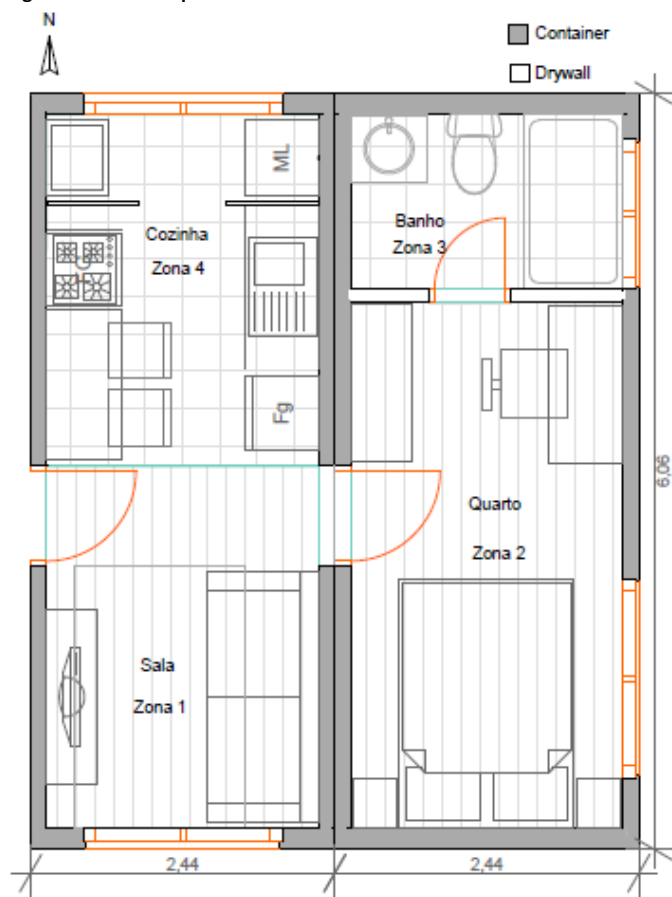
Método

Para o desenvolvimento deste estudo, foi elaborado um projeto arquitetônico residencial constituído por dois módulos de contêiner de 20 pés com área de 14,78 m² cada, para ser simulado numericamente no programa *Energypius*. Os resultados obtidos na análise das zonas bioclimáticas brasileiras 2, 3 e 8 foram comparados, de forma a se obter as estratégias que geram ambientes termicamente confortáveis aos usuários. Foram escolhidas para a análise as zonas bioclimáticas 2, 3 e 8 em função de sua localização. Estas zonas compõem grande parte do litoral brasileiro e onde se encontram os portos marítimos e isto favorece o uso de contêineres como edificação, em função do menor custo com o transporte deste.

Objeto de estudo

O objeto de estudo é uma edificação composta por quarto, banheiro, sala e cozinha conjugada com a área de serviço, compondo uma área total de 29,57 m² sem entorno construído. O modelo foi dividido em quatro zonas térmicas, uma para cada ambiente. A planta baixa esquemática com *layout* é representada na Figura 1. A Tabela 1 apresenta o respectivo quadro de áreas.

Figura 1 - Planta esquemática da casa em contêiner



Fonte: Os autores.

Tabela 1 - Quadro de áreas de projeto

Descrição	Sala	Quarto	Cozinha	Banheiro
Dimensões	2,19 m x 2,82 m x 2,60 m	2,19 m x 4,20 m x 2,60 m	2,19 m x 2,82 m x 2,60 m	2,19 m x 1,40 m x 2,60 m
Área do piso	6,32 m ²	9,12 m ²	6,15 m ²	3,05 m ²
Volume	16,43 m ³	23,71 m ³	15,99 m ³	7,93 m ³

Fonte: Os autores.

Método adotado e parâmetros gerais

A edificação foi simulada no programa *Energyplus* (versão 8.6.0) (LBNL, 2006). A partir da definição da geometria da edificação proposta (Figura 1), a avaliação do desempenho térmico por simulação numérica compreendeu as etapas abaixo listadas, inspiradas em Lawrence (2008):

- Caracterização das variáveis humanas de conforto térmico;
- Caracterização das variáveis climáticas;
- Caracterização das variáveis arquitetônicas;
- Caracterização das propriedades termofísicas dos materiais;
- Análise das interações entre o ambiente interno e externo;
- Obtenção da evolução da temperatura e umidade relativa do ar interno.

A avaliação do desempenho térmico do modelo considerou as condições climáticas de três zonas bioclimáticas brasileiras (2, 3 e 8), previstas na parte 3 da norma de desempenho térmico NBR 15.220-3 (ABNT, 2005a), e observou também os critérios da norma de desempenho de edificações habitacionais NBR 15.575 (ABNT, 2013). Segundo esta norma, deve-se desconsiderar a presença de fontes internas de calor na análise de desempenho térmico, uma vez que está sendo considerado apenas a envoltória. Sendo assim, neste estudo são desconsiderados os ganhos internos de calor gerados pelo perfil de ocupação, equipamentos e iluminação. Embora as cidades avaliadas não sejam litorâneas, elas são representativas das zonas bioclimáticas selecionadas. Na Tabela 2 apresenta-se os dados geográficos das cidades consideradas no estudo e nas Tabelas 3 e 4 os dados dos dias típicos de verão e inverno.

Tabela 2 - Zonas Bioclimáticas

Zona bioclimática	Localização estimada	Latitude	Longitude	Altitude
2	São Lourenço - MG	S 22° 07'	W 45° 03'	874 m
3	São Paulo - SP	S 23° 50'	W 46° 62'	792 m
8	Manaus - AM	S 3° 13'	W 60° 02'	72 m

Fonte: Adaptado da NBR 15.575 (ABNT, 2013)

Tabela 3 - Dados dos dias típicos de verão das zonas simuladas

Zona Bioclimática	$T_{e,máx}$ diária (°C)	Amplitude diária de temperatura (°C)	T_e bulbo úmido (°C)	Radiação solar (Wh/m ²)	Nebulosidade (décimos)
2 São Lourenço (MG)	31,8	11,7	21,6	5.307	8
3 São Paulo (SP)	31,9	9,2	21,3	5.180	6
8 Manaus (AM)	34,9	9,1	26,4	5.177	7

Fonte: Adaptado da NBR 15.575 (ABNT, 2013) e INMET (2012).

Tabela 4 - Dados dos dias típicos de inverno das zonas simuladas

Zona Bioclimática	$T_{e,máx}$ diária (°C)	Amplitude diária de temperatura (°C)	T_e bulbo úmido (°C)	Radiação solar (Wh/m ²)	Nebulosidade (décimos)
2 São Lourenço (MG)	2,6	16,6	14,0	3.595	7
3 São Paulo (SP)	6,2	10,0	13,4	4.418	6
8 Manaus (AM)	21,4	7,9	25,0	4.523	7

Fonte: Adaptado da NBR 15.575 (ABNT, 2013) e INMET (2012).

Utilizou-se o dia típico de verão e o de inverno para caracterizar cada zona bioclimática, conforme as diretrizes da norma NBR 15.575 (ABNT, 2013).

Estratégias de projeto adotadas na análise do desempenho térmico

A simulação numérica é realizada para o estudo de estratégias de projeto que visam melhorar o desempenho térmico de forma a proporcionar um conforto térmico adequado aos usuários.

Para embasar a análise global do desempenho térmico da edificação, alguns parâmetros de construção foram alterados na simulação numérica. Considerou-se cinco tipos de isolamento térmico nos fechamentos, dois tipos de cobertura, três tipos de fundação, três tons de cores de pintura externa e dois tipos de tamanho de aberturas, conforme esquema apresentado na Figura 2.

Figura 2 - Parâmetros variados na simulação numérica

Isolamento	Cobertura	Fundação	Pintura externa	Tamanho das aberturas
<ul style="list-style-type: none"> • Câmara de ar • Fibra cerâmica • Isopor • Lã de rocha • Lã de vidro 	<ul style="list-style-type: none"> • Telhado termoacústico • Telhado verde 	<ul style="list-style-type: none"> • Solo • Porão • Radier 	<ul style="list-style-type: none"> • Clara $\alpha=0,3$ • Média $\alpha=0,5$ • Escura $\alpha=0,7$ 	<ul style="list-style-type: none"> • Pequena (1,10m x 1,10m) • Grande (1,10m x 1,60m)

Legenda: α = absorvância à radiação solar. Fonte: Os autores.

Os isolantes térmicos são instalados entre o contêiner e o revestimento interno. Os materiais considerados neste estudo e suas propriedades termofísicas são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Materiais e suas propriedades termofísicas

Isolamento	Espessura (m)	Condutividade térmica (W/m.K)	Massa específica (kg/m ³)	Calor específico (J/kg.K)	Resistência térmica (m ² .K / W)
Câmara de ar	0,03	-	-	-	0,16
Fibra cerâmica	0,03	0,04	100	1130	-
Isopor	0,03	0,035	25	0,3	-
Lã de rocha	0,03	0,045	100	750	-
Lã de vidro	0,03	0,045	50	700	-

Fonte: Adaptado de NBR 15.220 (ABNT, 2005b)

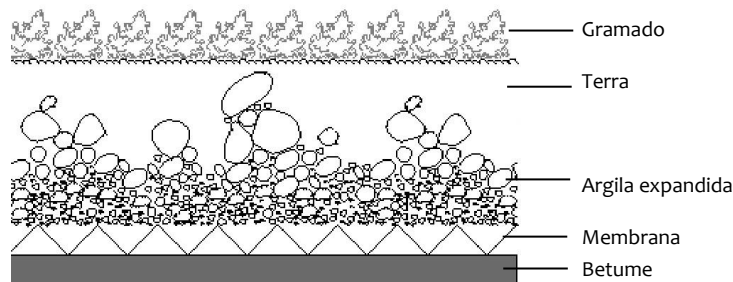
O contêiner possui o fechamento horizontal superior levemente inclinado para facilitar o escoamento de água, mas, buscando-se melhorar o desempenho térmico da edificação foi proposta uma cobertura elevada. Na simulação numérica foram propostos dois tipos de cobertura: uma com telha sanduíche em aço com camada intermediária de poliuretano (EPS) e o telhado verde (Figuras 3 e 4). A cobertura com telha termoacústica possui um ático, que é uma zona de ventilação entre o teto do contêiner e o telhado. A cobertura verde é composta de várias camadas, sendo elas: uma de impermeabilizante, uma de drenagem, uma de terra e uma de vegetação. Analisou-se como esses tipos de cobertura se comportam junto à estrutura em aço do contêiner. Na Tabela 6 apresentam-se os dados dos tipos de coberturas analisadas.

Figura 3 - Esquema da telha termoacústica



Fonte: Os autores.

Figura 4 - Esquema de telhado verde



Fonte: Os autores.

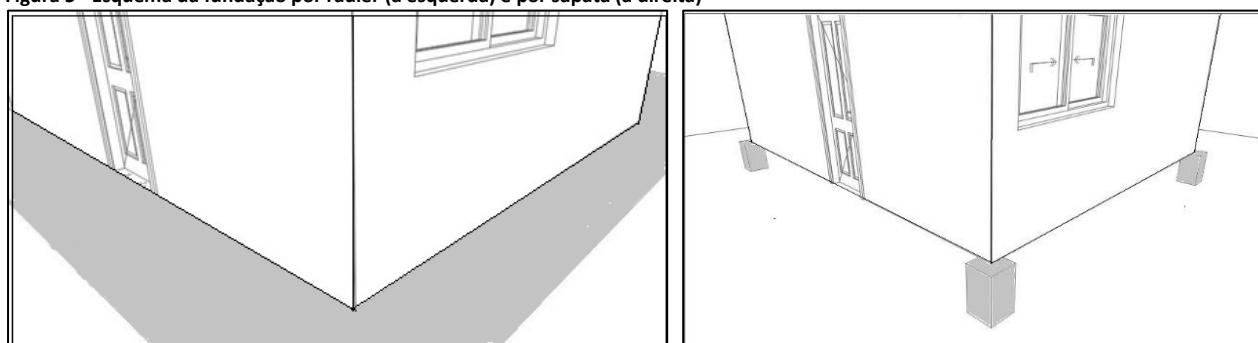
Tabela 6 - Coberturas e suas propriedades termofísicas

Cobertura	Camadas	Espessura (m)	Condutividade de térmica (W/m.K)	Densidade (kg/m ³)	Calor específico (J/kg.K)
Telhado do contêiner	Painel de teto corrugado (aço)	0,03	55	7800	460
Telha sanduíche	Telha superior (aço)	0,051	0,03	20	1670
	Espuma de poliuretano (EPS)				
	Telha inferior (aço)				
Telhado verde	Gramado	0,05	0,35	1100	1200
	Terra argilosa	0,15	0,52	1700	840
	Argila expandida	0,03	0,16	400	100
	Membrana betuminosa	0,005	0,17	1000	1460
	Betume asfáltico	0,005	0,23	1000	1460

Fonte: Adaptado de NBR 15.220 (ABNT, 2005b).

O modelo de edificação proposto foi simulado com três tipos de fundação. Em um primeiro momento, considerou-se o contêiner sobre o solo, utilizando como fundação apenas as arestas de aço (178 mm X 162 mm X 118 mm) como de fábrica. Após essa etapa, simulou-se um radier entre o contêiner e o solo e, por último, uma fundação do tipo sapata, em que o contêiner fica suspenso do solo e há um espaço para ventilação (Figura 5).

Figura 5 - Esquema da fundação por radier (a esquerda) e por sapata (a direita)



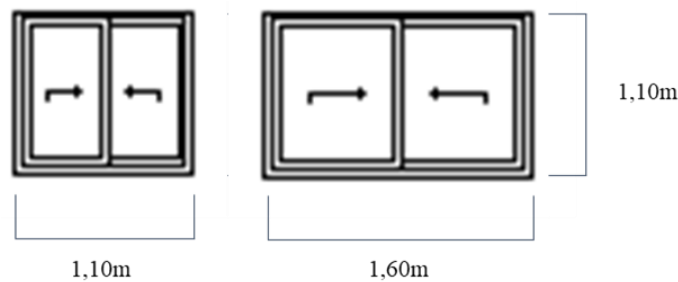
Fonte: Os autores.

Para a absorvância à radiação solar foram utilizados três tons de cores – clara ($\alpha = 0,3$), média ($\alpha = 0,5$) e escura ($\alpha = 0,7$) conforme indicado na norma NBR 15.575 (ABNT, 2013).

Em cada uma das zonas térmicas foi atribuída uma taxa de ventilação. Segundo a norma NBR 15.575 (ABNT, 2013), a simulação numérica conta com valores diferentes de renovação de ar: 1 ren/h e 5 ren/h. Também são propostos dois tamanhos de aberturas, sendo o menor tamanho, 1/6 da área do ambiente, que corresponde ao menor valor de área de abertura dentre os códigos de obra das três localidades (MANAUS, 2014; SÃO PAULO, 2017; SÃO LOURENÇO, 2017), e o maior tamanho foi estipulado com o aumento de 1/3 na área inicial (Figura 6), considerando-se 50% de abertura do vão (caixilho de correr).

As simulações numéricas foram realizadas considerando toda a edificação, mas os resultados são mostrados apenas para a sala, por ser um ambiente de permanência prolongada. E para as três zonas bioclimáticas no verão e no inverno apresentados somente para as zonas bioclimáticas 2 e 3, porque a zona bioclimática 8 não apresenta temperaturas baixas no inverno, mas sim uma média diária de 25°C nesse período, definidas pela norma NBR 15.220-3 (ABNT, 2005a).

Figura 6 - Dimensões das janelas



Fonte: Os autores.

Resultados

As estratégias de projeto foram alteradas e algumas delas combinadas para se obter a melhora no desempenho térmico da edificação contêiner. Os resultados apresentados são comparações entre as zonas bioclimáticas 2, 3 e 8.

Isolamento térmico

Os tipos de isolamento térmico estudados propiciam comportamentos parecidos no perfil de temperatura nas três zonas bioclimáticas analisadas. Na Tabela 7, apresentam-se as temperaturas internas, máximas no verão e mínimas no inverno, em função do tipo de isolamento térmico aplicado nos fechamentos verticais externos. Os isolamentos por fibra cerâmica, isopor, lã de rocha e lã de vidro tiveram o comportamento muito parecido, por isso foi escolhido a câmara de ar, no interior das paredes, que gerou o melhor desempenho térmico na sala tanto para o verão como para o inverno. Isto mostra que nem sempre um fechamento externo muito isolante proporciona bom desempenho térmico, pois dificulta as perdas de calor nas horas em que a temperatura externa está mais baixa que a interna.

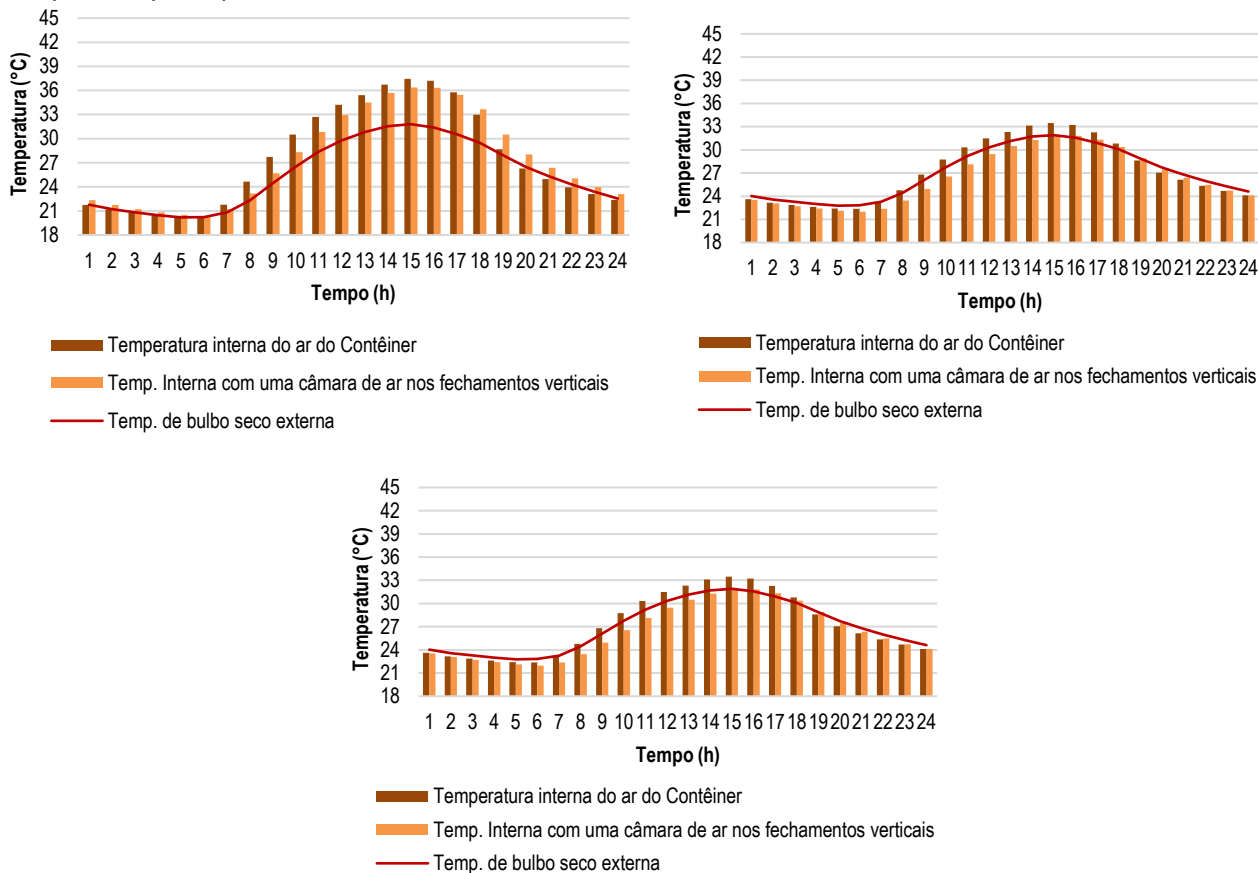
Tabela 7 - Quadro comparativo dos isolamentos estudados

Zona	Temperatura externa	Contêiner sem isolamento	Câmara de ar	Fibra cerâmica	Isopor	Lã de rocha	Lã de vidro
ZB 02	Verão	31,8°C	37,4°C	36,4°C	36,5°C	36,6°C	36,6°C
	Inverno	2,8°C	6,1°C	8,2°C	7,5°C	7,5°C	7,4°C
ZB 03	Verão	31,9°C	33,5°C	31,8°C	32,2°C	32,2°C	32,9°C
	Inverno	6,7°C	9,5°C	11,2°C	10,6°C	10,6°C	10,5°C
ZB 08	Verão	34,9°C	39,4°C	40,9°C	40,9°C	41,0°C	40,9°C

Fonte: Os autores.

Na Figura 7 pode-se observar que, no horário da temperatura mais crítica do verão, em torno das 15 horas, o uso da câmara de ar nas paredes manteve as temperaturas internas mais baixas se comparadas ao uso do contêiner sem isolamento nas paredes. Mas somente o uso da câmara de ar não é o ideal para se obter um conforto térmico adequado aos ocupantes, uma vez que essa estratégia manteve as temperaturas internas mais altas do que no contêiner sem intervenção, principalmente nas zonas bioclimáticas (ZB) 2 e 8, após às 16 h. Isto está diretamente relacionado ao material que compõe a envoltória. O contêiner sem isolamento tem uma transmitância térmica maior se comparado à situação com isolamento térmico no interior dos fechamentos. Assim, a presença de uma camada de ar nas paredes externas diminui a oscilação da temperatura, fazendo com que as temperaturas internas no período noturno sejam mais altas, se comparadas ao contêiner sem isolamento.

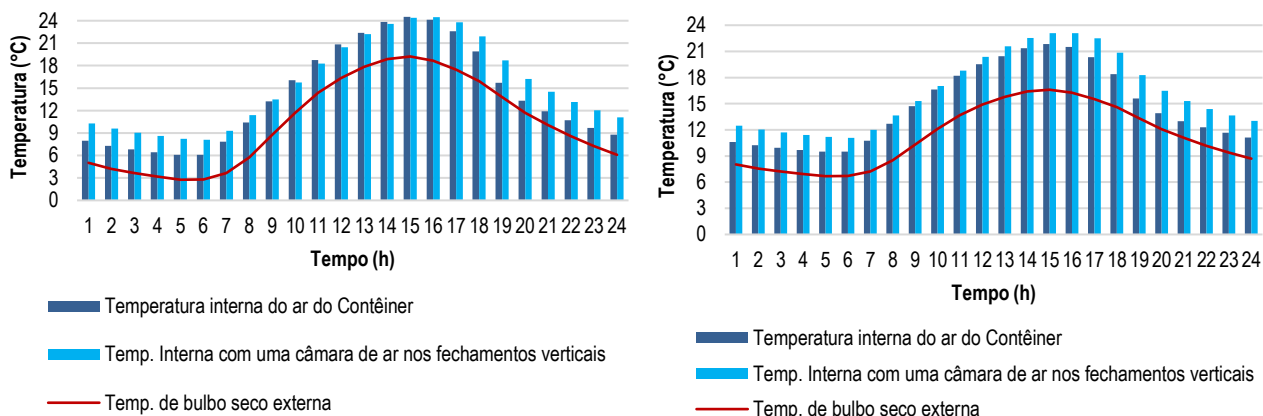
Figura 7 - Evolução temporal da temperatura na sala com isolamento térmico durante o verão na ZB 2 (superior, a esquerda), na ZB 3 (superior, a direita) e na ZB 8 (inferior)



Fonte: Os autores.

Na Figura 8 observa-se que, considerando o dia típico de inverno, o uso da câmara de ar no interior das paredes implica em temperaturas internas mais elevadas no período em que as temperaturas externas estão mais baixas, proporcionando um desempenho térmico mais adequado. O isolamento por meio da câmara de ar evita a perda de calor do interior para o exterior em um curto espaço de tempo, mantendo a temperatura mais alta internamente.

Figura 8 - Evolução temporal da temperatura na sala com isolamento térmico para inverno na ZB 2 (a esquerda) e na ZB-3 (a direita)



Fonte: Os autores.

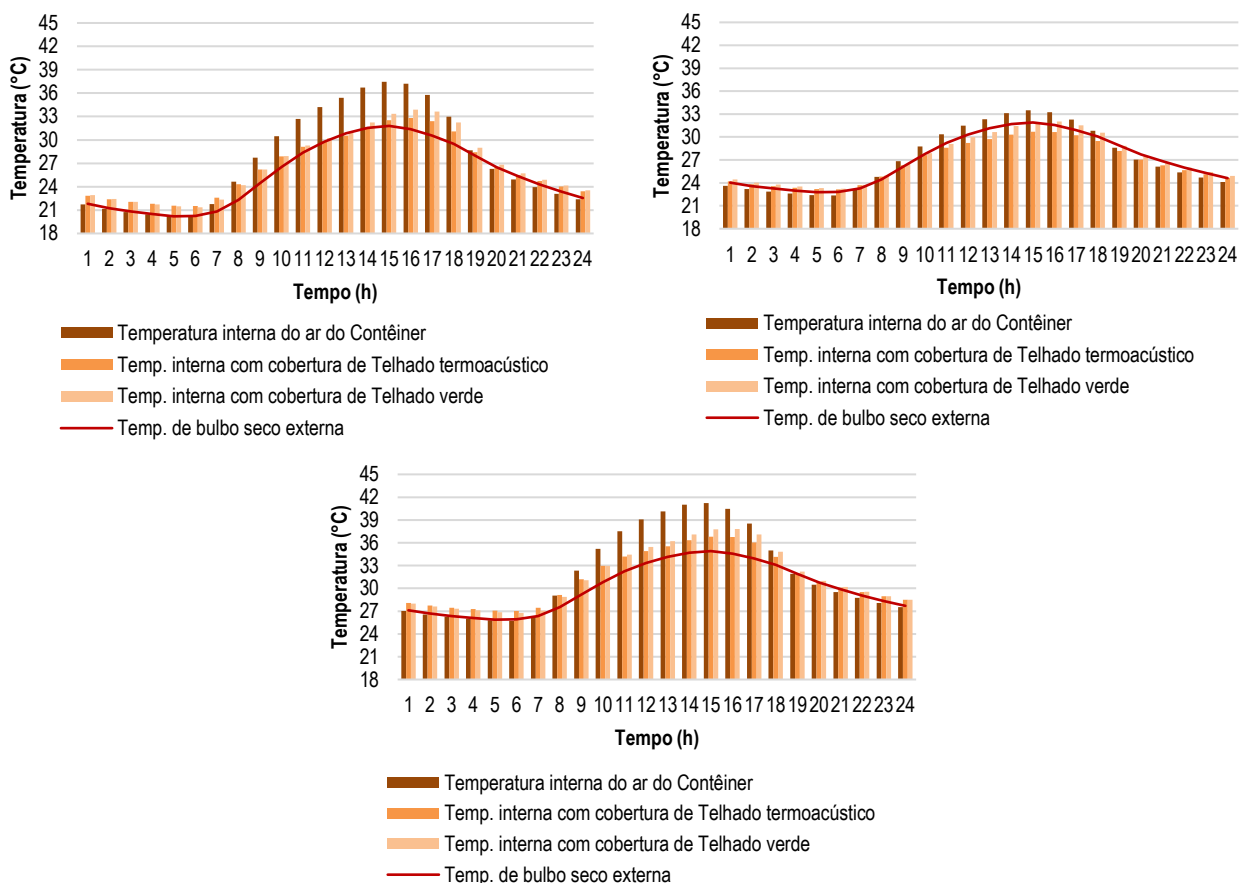
Cobertura

Foram realizados dois tipos de simulação numérica para avaliar a cobertura. Considerou-se inicialmente a casa contêiner sem isolamento, apenas com o fechamento superior inclinado. Em seguida, considerou-se duas versões de cobertura sobreposta a este fechamento: uma em telha termoacústica com ático e outra em cobertura verde. v

Na Figura 9 apresentam-se os resultados da simulação numérica das coberturas propostas. Observa-se que as duas coberturas propostas proporcionam uma temperatura interna mais amena do que a temperatura no contêiner sem intervenção, no horário mais quente do verão. O telhado termoacústico proporciona melhor desempenho térmico do que o telhado verde, por possuir uma zona de ventilação entre o contêiner e a cobertura. No entanto, vale ressaltar que, neste estudo, não foi considerada a perda de calor latente pelos fechamentos.

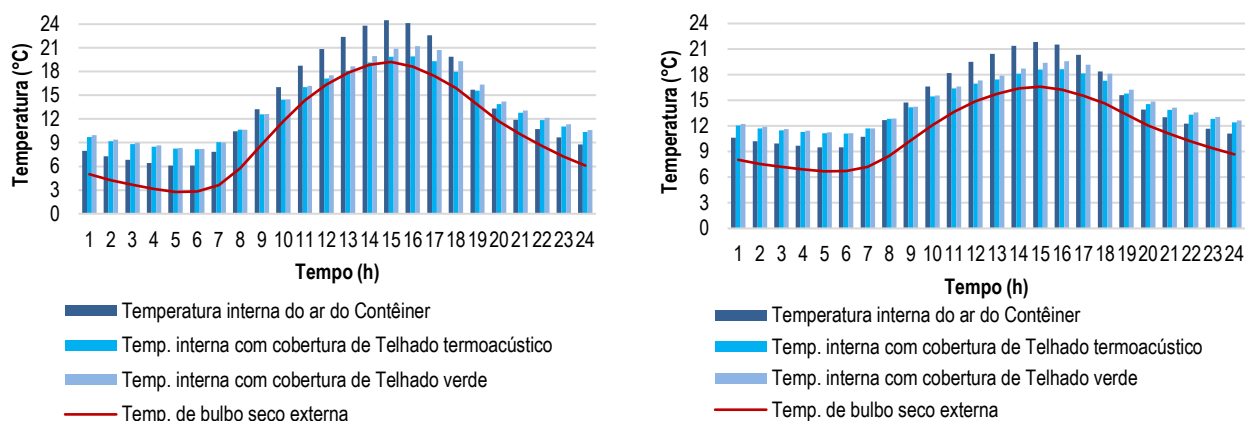
Na Figura 10 nota-se que, no inverno, as coberturas propostas mantêm a temperatura interna mais elevada do que no contêiner sem alteração na cobertura, no horário mais frio do inverno. Diferentemente do verão, as duas coberturas têm resultados próximos neste horário do dia.

Figura 9 - Evolução temporal da temperatura na sala com cobertura para verão na ZB 2 (superior, a esquerda), na ZB 3 (superior, a direita) e na ZB 8 (inferior)



Fonte: Os autores.

Figura 20 - Evolução temporal da temperatura na sala com cobertura para inverno na ZB 2 (a esquerda) e na ZB 3 (a direita)



Fonte: Os autores.

Fundação

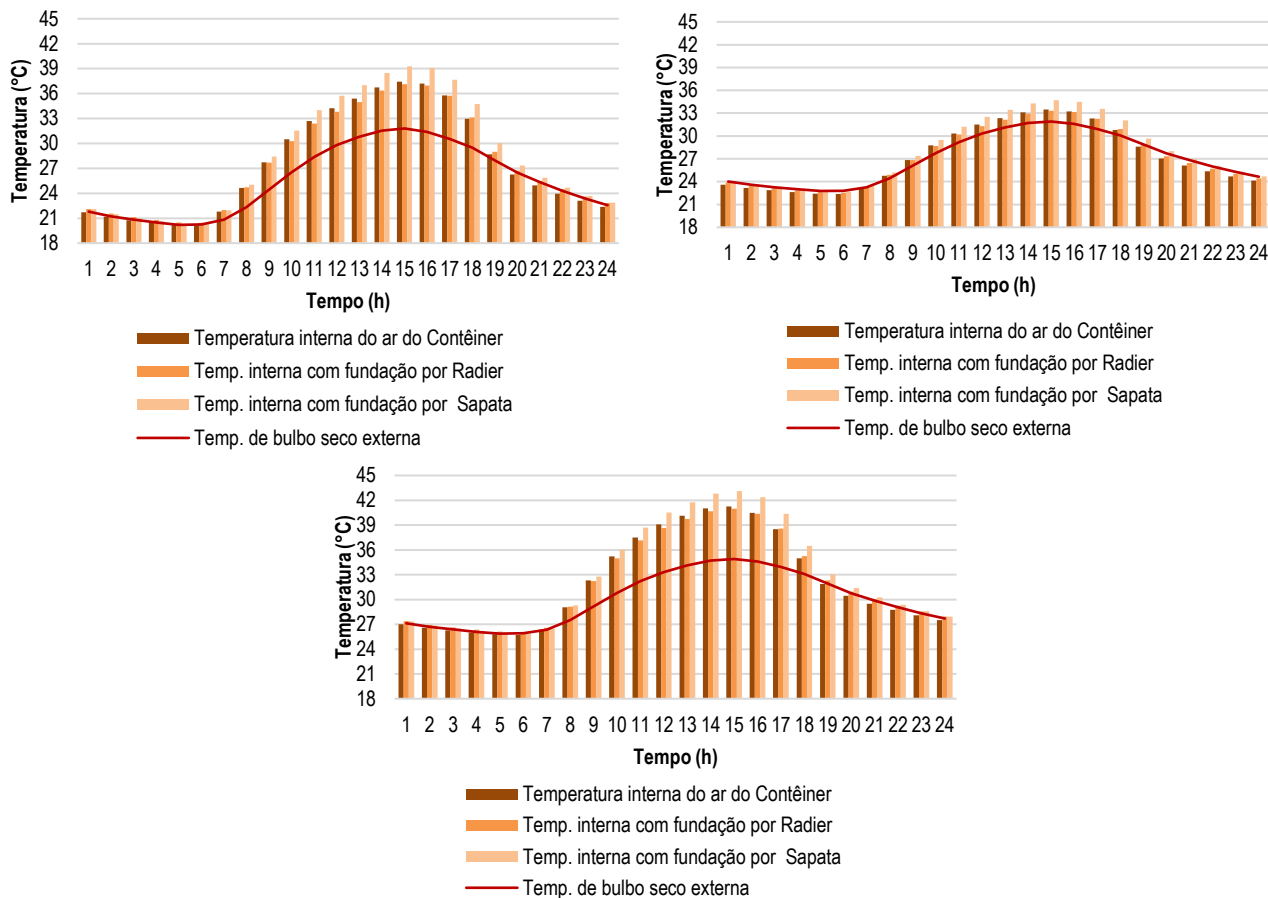
Na Figura 11 pode-se observar que o radier gerou as menores temperaturas internas, se comparado aos outros tipos de fundação (contêiner sobre o solo e sobre sapatas) no período das temperaturas mais elevadas do dia típico de verão. Este resultado se dá em função da influência da área de contato do radier com o solo. No caso do container sobre o solo, este fica apoiado sobre as arestas de aço, diminuindo a área de contato. Sendo a temperatura do solo, e conseqüentemente do radier, mais baixa que a temperatura do ar, aumenta-se as perdas de calor para o piso por convecção, o que diminui as temperaturas internas no verão. No inverno o comportamento é inverso, pois a temperatura do solo é maior que a temperatura do ar, devido à inércia térmica elevada do solo, o que aumenta as temperaturas internas.

Na Figura 12 pode-se observar que o uso do radier proporciona um desempenho térmico mais adequado no inverno. Para a zona bioclimática 3, os tipos de fundação analisados apresentam resultados próximos.

Pintura externa

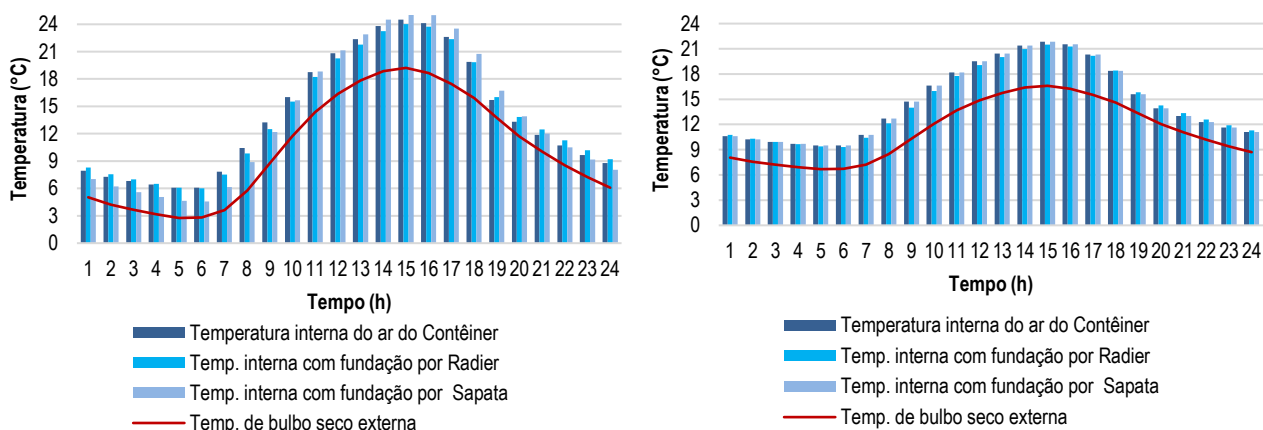
Nesta etapa são considerados três tons de cores nas paredes externas. As cores mais claras possuem maior refletância à radiação solar e as cores mais escuras possuem maior absorvância. O comportamento observado nas três zonas bioclimáticas analisadas foi o mesmo para todas as análises, conforme mostra a Figura 13.

Figura 11 - Evolução temporal da temperatura na sala com diferentes tipos de fundação no container para verão na ZB 2 (superior, a esquerda), na ZB 3 (superior, a direita) e na ZB 8 (inferior)



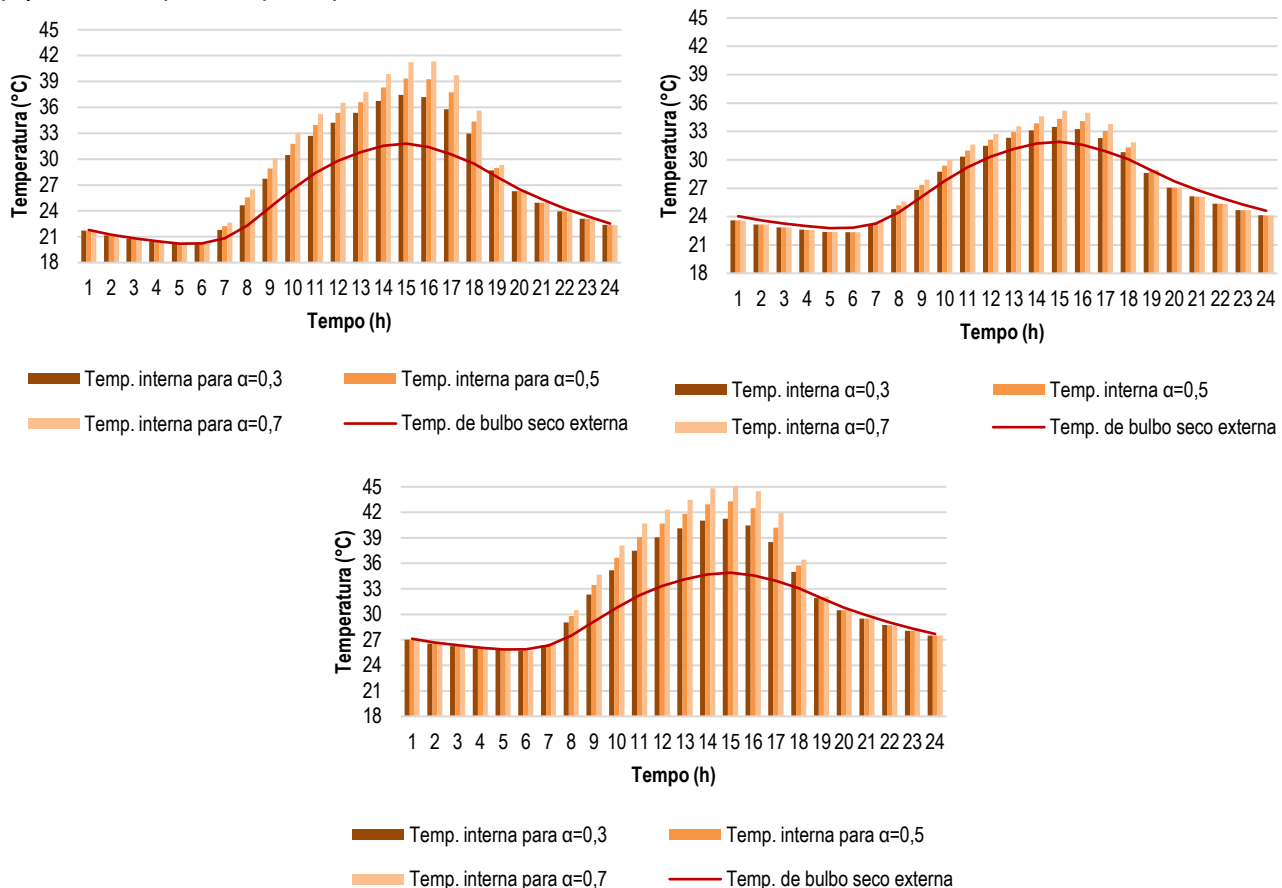
Fonte: Os autores.

Figura 12 - Evolução temporal da temperatura na sala com diferentes tipos de fundação no container para inverno na ZB 2 (a esquerda) e ZB 3 (a direita)



Fonte: Os autores.

Figura 13 - Evolução temporal da temperatura na sala para verão, absortância às 3 cores propostas, na ZB 2 (superior, a esquerda), na ZB 3 (superior, a direita) e na ZB 8 (inferior)

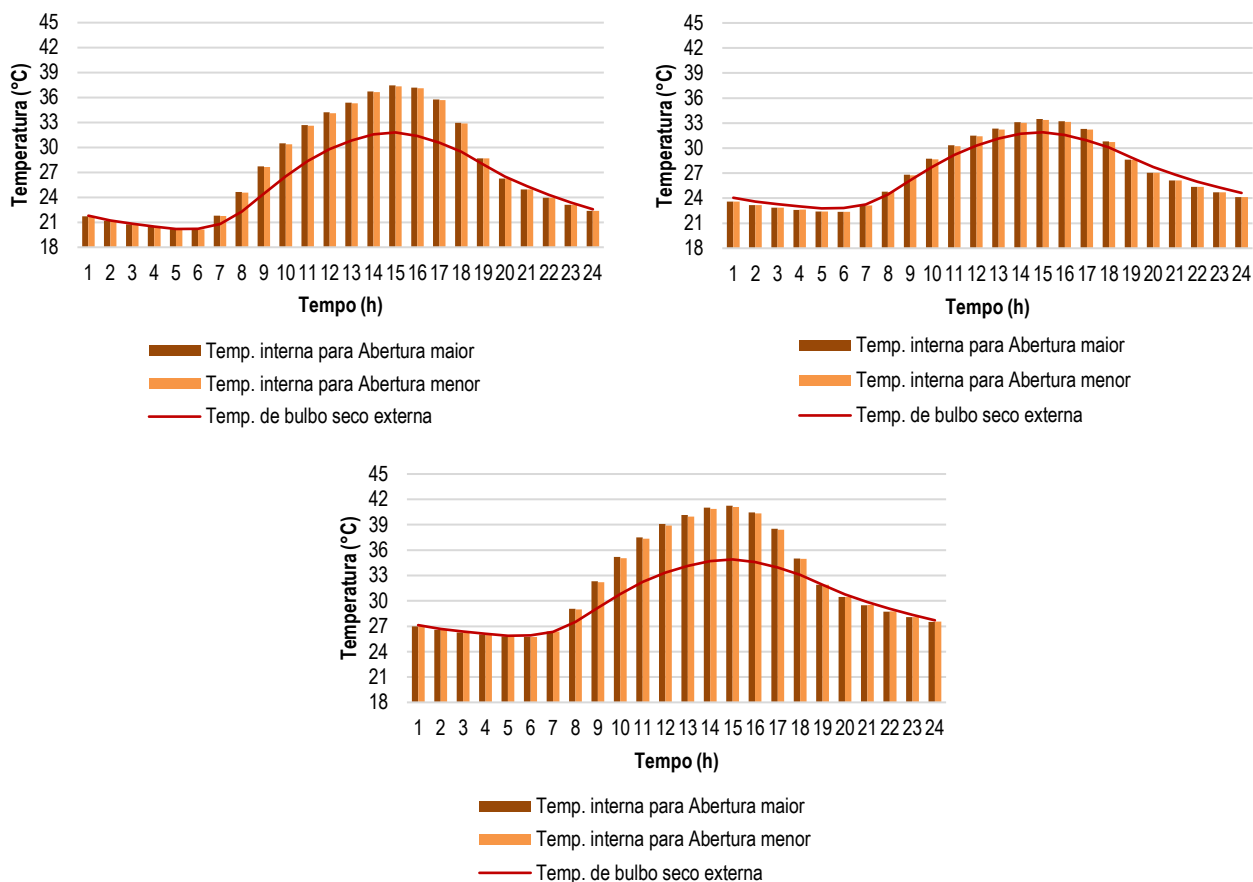


Fonte: Os autores.

Renovação do ar

As simulações numéricas com diferentes taxas de renovação de ar não gerou variações significativas nos resultados. Obteve-se uma variação de 0,7%. Uma segunda análise foi feita com a modificação do tamanho das aberturas e a sua influência no desempenho térmico global da edificação. Pode-se perceber pelos resultados que o aumento de 1/3 na área inicial das aberturas proporciona um aumento da temperatura interna do contêiner no verão, mas essa diferença é mínima, conforme ilustrado na Figura 14. O aumento da temperatura, neste caso, se deu em função do aumento da área envidraçada, que potencializa o efeito estufa. Como as taxas de renovação do ar são fixas, a modificação no tamanho da abertura não afeta diretamente a ventilação natural, mas implica em uma variação na temperatura interna dos ambientes devido ao aumento da área envidraçada. Considerando-se um modelo de ventilação em que o fluxo de ar possa ser simulado no interior da edificação, os resultados podem ser diferentes, sendo esta a única limitação da presente análise.

Figura 14 - Evolução temporal da temperatura na sala com diferentes aberturas no verão na ZB 2 (superior, a esquerda), na ZB 3 (superior, a direita) e na ZB 8 (inferior)



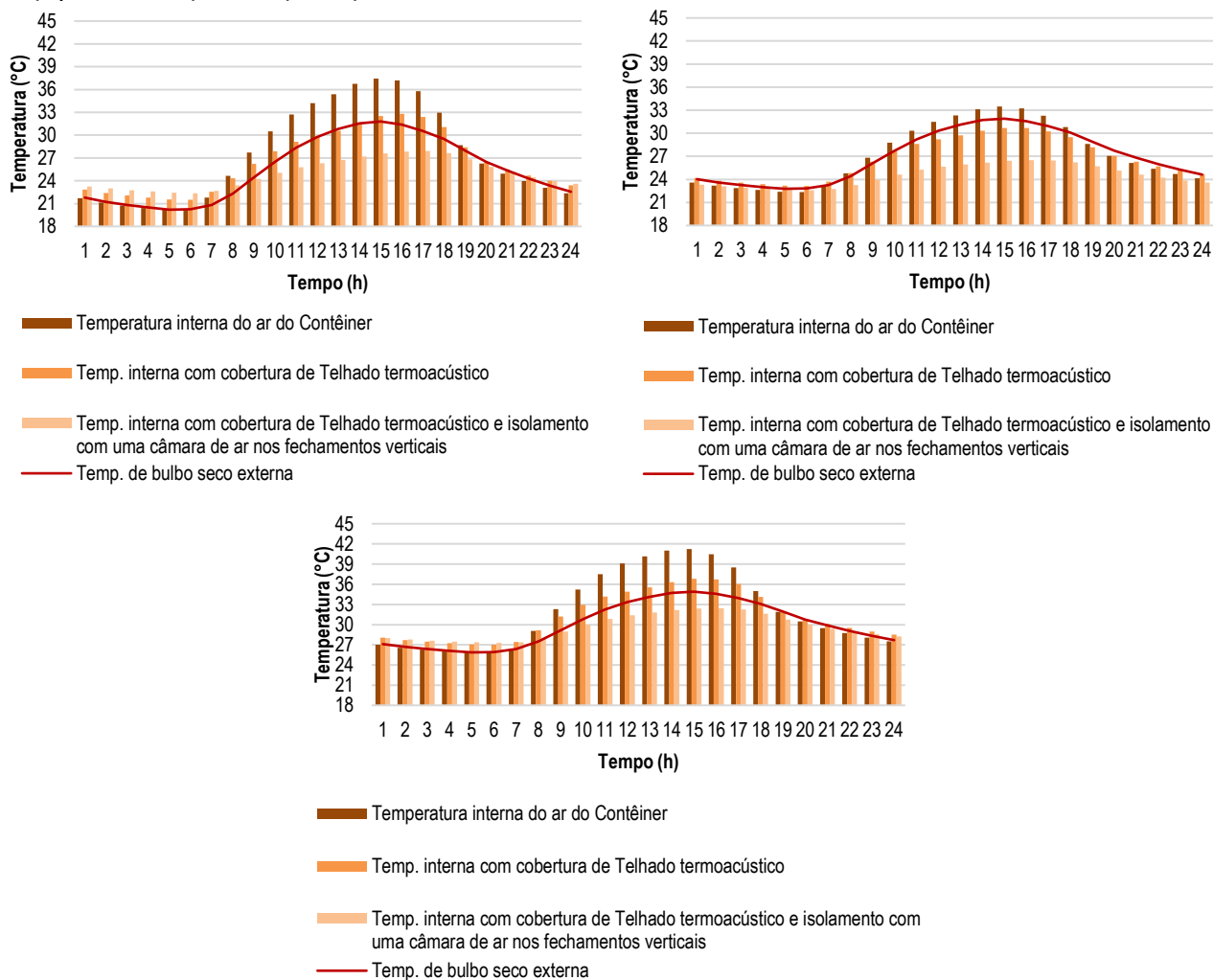
Fonte: Os autores.

Combinação de estratégias

Na Figura 15 apresentam-se os resultados da simulação com a combinação do isolamento térmico dos fechamentos verticais e da cobertura. Como a vedação vertical com câmara de ar obteve o melhor desempenho térmico, foi escolhida para ser combinada com os dois tipos propostos de cobertura. Nesses gráficos, pode-se notar que o uso concomitante da câmara de ar nas paredes externas e das coberturas analisadas melhora o desempenho térmico global da edificação. A melhor combinação se dá com a câmara de ar e o telhado termoacústico, apresentando as menores temperaturas no verão.

Como se pode observar, cada estratégia tem uma contribuição no desempenho térmico da edificação contêiner e o uso concomitante das melhores estratégias mostram que estas são fundamentais para a obtenção do conforto térmico do usuário.

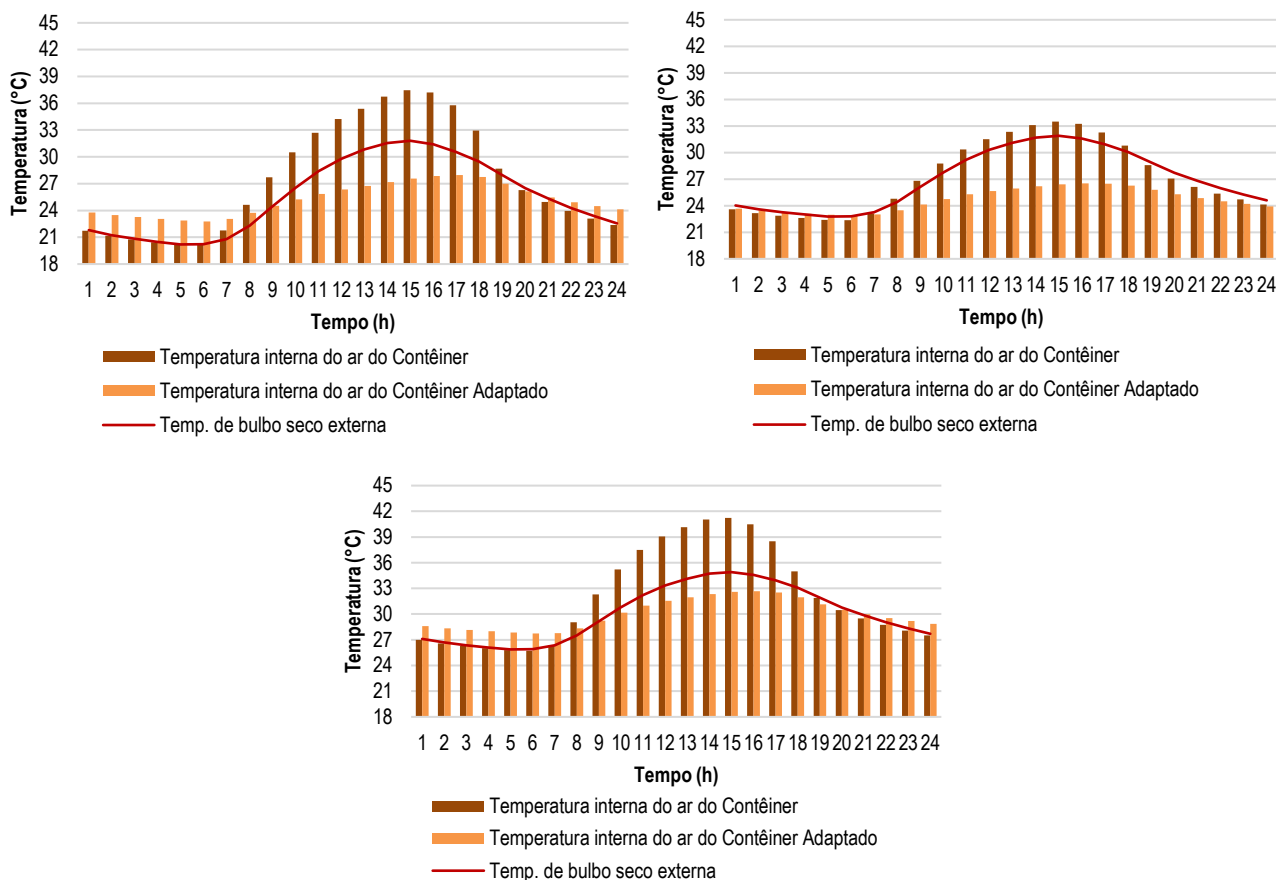
Figura 15 - Evolução temporal da temperatura na sala, com combinação da cobertura e isolamento, para verão na ZB 2 (superior, a esquerda), na ZB 3 (superior, a direita) e na ZB 8 (inferior)



Fonte: Os autores.

Na Figura 16 mostra-se o uso simultâneo das estratégias que obtiveram os melhores resultados para o verão para isolamento térmico, cobertura, fundação, pintura externa e renovação de ar. Na Figura 16 (gráfico superior, a esquerda) mostra-se que na ZB2 as estratégias conjuntas reduziram em até 9,5°C as temperaturas internas, se comparado ao contêiner sem modificações. Nota-se, pela Figura 16 (gráfico superior, a direita), que na ZB 3 as estratégias conjuntas reduziram em até 7,0°C as temperaturas internas, se comparadas ao contêiner sem modificação no verão. Na Figura 16 (gráfico, inferior) nota-se que na ZB 8 as estratégias conjuntas reduziram em até 8,6°C as temperaturas internas, se comparadas ao contêiner sem modificação nas maiores temperaturas do verão.

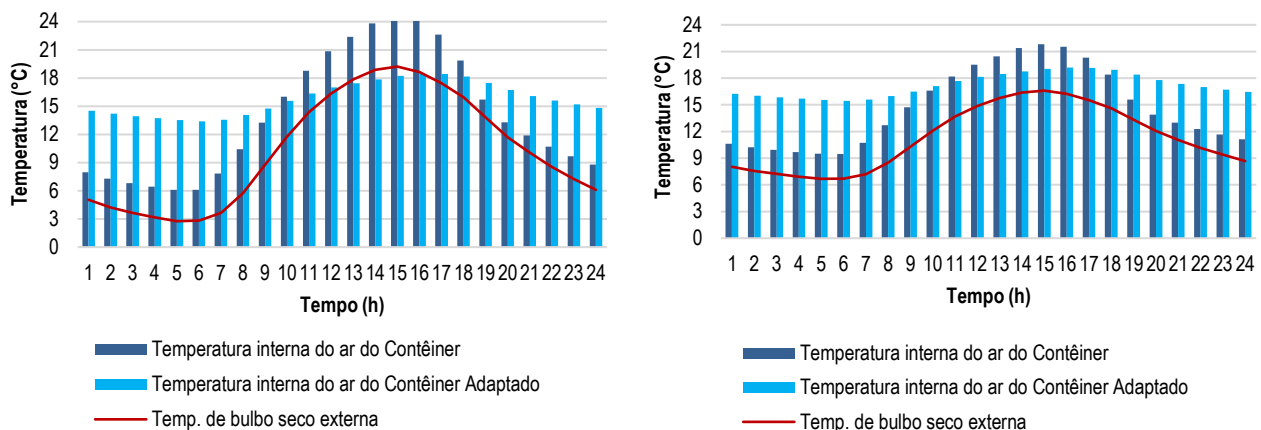
Figura 16 - Evolução temporal da temperatura na sala, diferença entre contêiner sem adaptação e com adaptação, para verão na ZB 2 (superior, a esquerda), na ZB 3 (superior, a direita) e na ZB 8 (inferior)



Fonte: Os autores.

Na Figura 17 apresenta-se o uso simultâneo das mesmas estratégias que obtiveram os melhores resultados considerando o dia típico de inverno. De um modo geral, observa-se que a combinação destas estratégias diminui a oscilação diária da temperatura interna e diminui a temperatura no período diurno em relação ao contêiner sem modificações. Na Figura 17 (gráfico a esquerda) mostra-se que, na ZB 2, as estratégias conjuntas aumentaram em até 7,3°C as temperaturas internas, se comparadas ao contêiner sem modificações. E na Figura 17 (gráfico a direita) mostra-se que, na ZB 3, as estratégias conjuntas aumentaram em até 5,9°C as temperaturas internas, se comparadas ao contêiner sem modificação no inverno.

Figura 17 - Evolução temporal da temperatura na diferença entre contêiner sem adaptação e com adaptação, para inverno na ZB 2 (a esquerda) e na ZB 3 (a direita)



Fonte: Os autores.

Conclusões

O uso do contêiner como moradia está sendo amplamente empregado. Pode ser uma alternativa viável ao déficit de habitações, pelo preço, redução no tempo de construção, redução de resíduos e impacto ambiental. Portanto, é imprescindível entender o método de construção e as adaptações necessárias para o seu uso pleno. Neste estudo, procurou-se entender como o contêiner se comporta como uma edificação e como algumas estratégias de projeto podem melhorar seu desempenho térmico.

Pode-se observar que o contêiner, por ser constituído em aço, sofre grande influência das temperaturas externas e da insolação, sendo necessário, portanto, o uso de adaptações para que a edificação apresente um bom desempenho térmico. O uso de isolamento térmico nos fechamentos externos se mostrou indispensável nas zonas bioclimáticas analisadas (2, 3 e 8). O ideal é que o isolamento seja combinado com uma cobertura adicional ao contêiner, para que se obtenha temperaturas internas mais amenas no verão. No Brasil é menos comum o uso do radier como fundação em habitações com contêiner, mas de acordo com as simulações numéricas realizadas neste estudo, este é um sistema construtivo que pode ser utilizado nas três zonas bioclimáticas analisadas para se obter uma edificação com desempenho térmico adequado.

Quanto ao acabamento de superfícies externas, o ideal é que se use cores mais claras (absortância solar de 0,3), logo, refletoras, na zona bioclimática 3 e principalmente na zona bioclimática 8, para diminuir a absortância à radiação solar. Por outro lado, na zona bioclimática 2, que apresenta um inverno com temperaturas mais baixas e um verão mais ameno, pode ser usada a cor média (absortância solar de 0,5), ajudando no melhor desempenho térmico, principalmente no inverno.

Conclui-se que é possível utilizar o contêiner como habitação desde que sejam aplicadas modificações que melhorem o seu desempenho térmico. O uso concomitante de todas as estratégias aqui sugeridas reduziu a influência da temperatura externa, com isso o contêiner apresentou uma variação menor no perfil de temperatura interna, o que pode proporcionar maior conforto térmico ao usuário. Os resultados aqui obtidos comprovam as indicações do trabalho de Buges *et al.* (2014) e confirmam os resultados

de Tanyer, Tavukcuoglu e Bekboliev (2018) quanto à necessidade de isolamento térmico nas paredes.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio de bolsa da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento do Programa de Trabalho nº 12.364.2080.0487.0001 108452. Agradecimentos também à bolsa da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), ao Programa de Apoio à Pós-Graduação (PAPG) - convênio nº 5246/15 e à Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP).

Notas

(1) TEU – Twenty Foot Equivalent Unit – Unidade Equivalente de Transporte – contêiner de 1 TEU corresponde a um contêiner de 20 pés.

Referências

ABULNOUR, A. H. The post-disaster temporary dwelling: Fundamentals of provision, design and construction. **HBRC Journal**, v.10, p. 10 – 24. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.hbrj.2013.06.001>.

AKUTSU, M. **Método para avaliação do desempenho térmico de edificações no Brasil**. 1998. 156 f. Tese (Doutorado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005a.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005b. 92p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edifícios habitacionais – Desempenho, Rio de Janeiro, 2013. 312 p.

BUILDING your shipping container home. **How to Build a Shipping Container Home**: Action it. Disponível em: <http://residentialshippingcontainerprimer.com/action%20it>. Acesso em: 09 mar. 2017.

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

CAIA, G.; VENTIMIGLIA, F.; MAASS, A. Container vs. dacha: The psychological effects of temporary housing characteristics on earthquake survivors. **Journal of Environmental Psychology**, v. 30, p. 60–66. 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0272494409000619?via%3Dihub> Acesso em: 17 jan. 2019.

CARBONARI, Luana Toralles; BARTH, Fernando. Reutilização de contêineres padrão ISO na construção de edifícios comerciais no sul do Brasil. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 6, n. 4, p. 255-265, dez. 2015. ISSN 1980-6809. DOI:<https://doi.org/10.20396/parc.v6i4.8641165>.

ELRAYIES, G. M. Thermal Performance Assessment of Shipping Container Architecture in Hot and Humid Climates. **International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology**, v. 7, n.4, p. 1114 – 1126, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.18517/ijaseit.7.4.2235>

FANGER, P. O. **Thermal comfort, analysis and applications in environmental engineering**. New York, McGraw-Hill Book Company. 1972.

FÉLIX, D.; BRANCO, J. M.; FEIO, A. Temporary housing after disasters: A state of the art survey. **Habitat International**, v. 40, p. 136 – 141. 2013. Disponível em: <http://www.ceptm.iue.edu.ar/wp-content/uploads/2016/11/2-Temporary-housing-after-disasters-A-state-of-the-art-survey.pdf> Acesso em: 16 jan. 2019.

FREITAS, W. C. **Análise da geração de resíduos da construção civil no município de Batatais-SP para implantação de gerenciamento integrado**. 2009. 125 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental da Universidade de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto – SP, 2009.

HONG, Y. A study on the condition of temporary housing following disasters: Focus on container housing. **Frontiers of Architectural Research**, v. 6, n. 3, p. 374-383. 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/317693593_A_study_on_the_condition_of_temporary_housing_following_disasters_Focus_on_container_housing Acesso em: 15 jan. 2019.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa**. 2012. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=tempo/graficos>. Acesso em: 26 mar. 2019.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A. **Critérios mínimos de desempenho para habitações térreas de interesse social**. São Paulo: Ed. Mandarim Ltda., 1998. 82 p. (Relatório Técnico nº 33.800).

INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL. **Manual gerenciamento integrado de resíduos sólidos**. Secretaria especial de desenvolvimento urbano da presidência da república SEDU, 2001. Disponível em: <http://www.resol.com.br/cartilha4/manual.pdf>. Acesso em: 09 fev. 2017.

LBNL - LAWRENCE BERKELEY NATIONAL LABORATORY. **Energyplus Engineering Reference: The Reference to _____**. **EnergyPlus Input Output Reference: The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input and Output**. Abril 20. 2006.

LOPES, E. S.; BELTRAME, M. H.; BELTANI, J. M. A.. A importância do contêiner na logística. Disponível em: <http://www.fateclins.edu.br/v4.0/trabalhoGraduacao/40Jan81KBwflujS8Q97yIQhY6tqD3sWdnC76mKGy.pdf>. Acesso em: 07 fev. 2017.

KREBS, L. F.; MOURA, P. W.; CUNHA, E. G. Habitação em container: um estudo paramétrico para a zona bioclimática 3. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, n. esp, p.90 - 101, dez. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v4e0201590-101>

MANAUS (Cidade). Código de Obras e Edificações do Município. 2014. **Lei complementar nº 3**, de 16 de janeiro de 2014.

PEÑA, J. A.; SCHUZER, K. Design of reusable emergency relief housing units using general-purpose (gp) shipping containers. **International Journal of Engineering Research and Innovation**, v. 4, n. 2, p. 55 – 64. 2012.

PIRES, F. **Valor Econômico**. 2015. Disponível em: <http://www.valor.com.br/internacional/3871772/movimento-de-containers-no-porto-de-roterda-aumenta-58-em-2014>. Acesso em: 03 mar. 2017.

RANCURA, R. L.; ALVES, V. M.. Avaliação de desempenho térmico de edificações em contêiner. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2016.

SÃO LOURENÇO (Cidade). **Prefeitura Municipal- Publicações oficiais**. 2017. Disponível em: <https://saoulourenco.mg.gov.br/poficiais.php>. Acesso em: 20 fev. 2017.

SÃO PAULO (Cidade). Código de Obras e Edificações. **Lei n.º 11.228/92**. Dispõe sobre as regras gerais e específicas a serem obedecidas no projeto, licenciamento, execução, manutenção e utilização de obras e edificações, dentro dos

limites dos imóveis. Disponível em:

https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/urbanismo/legislacao/codigo_de_obras/. Acesso em: 20 fev. 2017.

TANYER, A. M.; TAVUKCUOGLU, A.; BEKBOLIEV, M. Assessing the airtightness performance of container houses in relation to its effect on energy efficiency. **Building and Environment**, v. 134, p. 59-73. 2018. Disponível em: <http://isiarticles.com/bundles/Article/pre/pdf/151257.pdf> Acesso em: 14 jan. 2019

1 Françoise Santana Viana

Arquiteta e Urbanista. Mestra. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Endereço postal: Travessa 12 de Outubro, 199, Carlos Chagas, MG, Brasil, CEP 39864-000

2 Henor Artur de Souza

Engenheiro Mecânico. Doutor. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Ouro preto. Endereço postal: Campus Universitário, Morro do Cruzeiro, Ouro Preto, MG, Brasil, CEP 35400-000

3 Adriano Gomes Pinto

Arquiteto e Urbanista. Doutor. Instituto Federal de Minas Gerais, Campus Ouro Preto. Endereço postal: Rua Pandiá Calógeras, 898, Bairro Bauxita, Ouro Preto, MG, Brasil, CEP 35400-000