ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

Desempenho térmico de residências construídas com contêineres

Thermal performance of shipping-container houses

Joana Anny Mafalda de Oliveira
Universidade Federal de Santa Catarina | Florianópolis | Brasil | jojuca.aninha@gmail.com
Marina Ribeiro Viana
Universidade Federal de Santa Catarina | Florianópolis | Brasil | vianarmarina@gmail.com
Ana Lígia Papst Abreu
Instituto Federal de Santa Catarina | Florianópolis | Brasil | ana.abreu@ifsc.edu.br
Enedir Ghisi
Universidade Federal de Santa Catarina | Florianópolis | Brasil | enedir.ghisi@ufsc.br

Resumo

Este estudo analisa o desempenho térmico de residências construídas com contêineres em vários climas brasileiros, considerando o sistema de empilhamento e parâmetros da envoltória. Dividido em três etapas, o método inclui a definição dos casos para simulação, a realização das simulações por meio do *software EnergyPlus* conforme a norma NBR 15.575-1 e a análise dos resultados. Os resultados mostram que, de acordo com o clima e a orientação solar, os dormitórios atendem em sua maioria ao nível mínimo de desempenho, enquanto as salas enfrentam dificuldades devido à baixa resistência térmica dos contêineres e ao horário de ocupação. No entanto, são necessárias mais pesquisas para adaptar a estratégia de empilhamento às condições locais e garantir desempenho térmico satisfatório em todas as áreas de permanência prolongada de residências construídas com contêineres. Conclui-se que, apesar dos desafios, os contêineres representam uma alternativa viável na construção civil, exigindo abordagens específicas para assegurar o desempenho térmico em diferentes climas.

Palavras-chave: Contêiner. Empilhamento. NBR15.575-1. Simulação. Desempenho térmico.

Abstract

This study analyzes the thermal performance of houses built with shipping containers in various Brazilian climates, considering the stacking system and envelope parameters. Divided into three stages, the method includes defining the cases for simulation, performing the simulations using the EnergyPlus software according to NBR 15.575-1 standard, and analyzing the results. The findings show that, according to the climate and solar orientation, the bedrooms mostly meet the minimum performance level, while the living and dining rooms face difficulties due to the containers low thermal resistance and occupancy schedule. However, further research is needed to adapt the stacking strategy to local conditions and ensure satisfactory thermal performance in all areas of prolonged occupancy in container-built houses. It is concluded that, despite the challenges, shipping containers represent a viable alternative in construction, requiring specific approaches to ensure thermal performance in different climates.

Como citar:
OLIVEIRA, J. A.M. Desempenho térmico de residências construídas com contêineres. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

Keywords: Container. Stacking. NBR 15.575-1. Simulation. Thermal performance.

INTRODUÇÃO

A energia elétrica desempenha papel crucial nas edificações, garantindo conforto e qualidade de vida, além de impulsionar o desenvolvimento econômico e social de um país [1]. No Brasil, os setores industrial, residencial e comercial são os maiores consumidores, com destaque para o setor residencial [2][3].

As edificações desempenham papel fundamental na transição para uma energia mais limpa, representando mais de um terço do consumo global de energia [4]. Estudos de sustentabilidade, especialmente em edificações energeticamente eficientes, são essenciais para suprir a demanda crescente de energia elétrica. A norma brasileira NBR 15.575-1 estabelece critérios para avaliar o desempenho de edifícios residenciais, com foco no desempenho térmico em três níveis [5].

Nesse cenário, os contêineres na construção civil são vantajosos por permitir uma construção rápida, econômica e com baixo impacto ambiental [6]. Garantir o desempenho térmico é crucial, demandando mais pesquisas para adaptações locais. Estratégias passivas, como o empilhamento vertical, são alternativas para contornar condições climáticas adversas, otimizando espaço e conforto, mas requerem considerações estruturais e de segurança [7][8].

Em climas quentes, os cômodos de contêineres utilizados principalmente à noite podem alcançar um desempenho mínimo, enquanto os usados durante o dia podem não atender devido à baixa resistência térmica da envoltória [9]. A falta de estudos sobre o desempenho térmico de construções contêineres em climas diversos destaca a necessidade de mais pesquisas. Portanto, o objetivo deste trabalho é avaliar como o empilhamento e os parâmetros da envoltória influenciam o desempenho térmico de residências contêineres unifamiliares, considerando os climas brasileiros do sistema Köppen.

MÉTODO

Este estudo é classificado como pesquisa descritiva desenvolvida a partir de simulações computacionais. O método deste trabalho foi dividido em três etapas:

1. Definição dos casos para simulação;
2. Realização das simulações conforme procedimento da NBR 15.575-1 [5];
3. Análise dos resultados com base nos indicadores da NBR 15.575-1 [5].

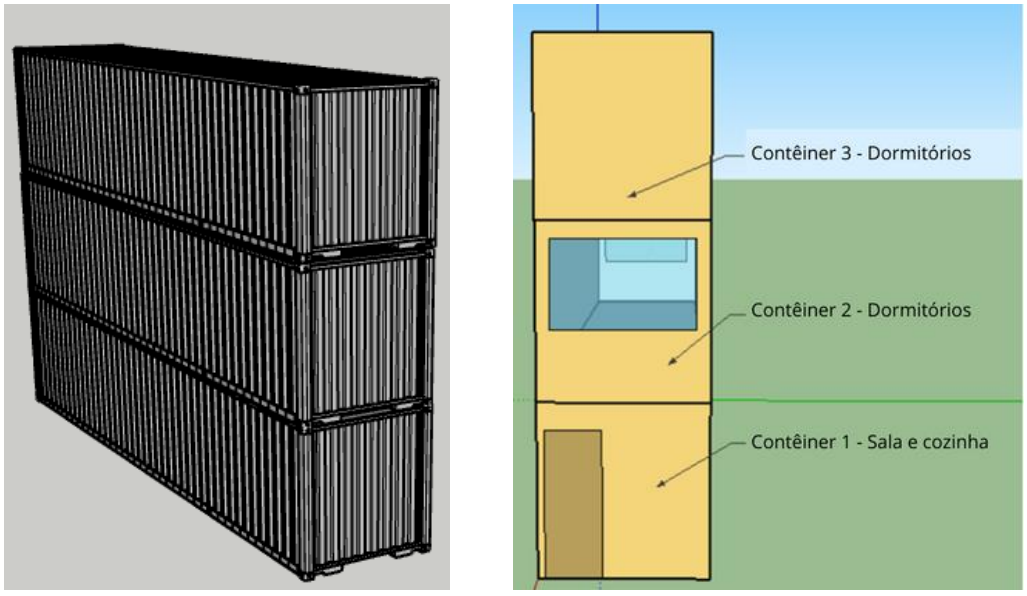
Na primeira etapa, foram definidos a residência, os climas, os sistemas de empilhamento e os parâmetros da envoltória a serem analisados. Na segunda etapa, as simulações foram realizadas utilizando o *software SketchUp Maker* (versão 17.0) com a extensão Euclid (versão 0.9.4.4) para modelagem da edificação. As simulações foram executadas no *software EnergyPlus* (versão 22.1.0). Os dados de entrada seguiram as recomendações da NBR 15.575-1 [5]. Na terceira etapa, os resultados

foram analisados, obtendo-se os indicadores necessários para o atendimento dos critérios normativos.

DEFINIÇÃO DOS CASOS DE SIMULAÇÃO

O modelo analisado foi uma habitação unifamiliar com estrutura de contêiner marítimo de 40 pés, composta por três módulos de 29 m² cada. O entorno foi desconsiderado para evitar influências de outras edificações. O primeiro módulo é a sala de estar/cozinha, enquanto o segundo e o terceiro são os dormitórios. As esquadrias têm orientações norte, sul, leste e oeste, com dimensões de 17% da área do piso, conforme procedimento de simulação estabelecido na NBR 15.575-1 [5]. A Figura 1 apresenta os contêineres empilhados e a disposição dos cômodos.

Figura 1: Modelo de empilhamento e distribuição dos cômodos nos contêineres



Fonte: o autor.

A orientação solar também foi considerada, com cada modelo ajustado em 45° para avaliar diferenças na exposição solar. Os cômodos foram dispostos de modo que o contêiner 1, que possui o período de uso e ocupação majoritariamente diurnos, esteja em contato com o solo.

PROCEDIMENTO DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL PROPOSTO PELA REVISÃO DA NBR 15.575-1

A Tabela 1 apresenta as cidades selecionadas para as simulações. Assim, utilizou-se os arquivos climáticos destas cidades. Os arquivos climáticos utilizados estão no formato TMY, representando um ano fictício com dados mensais representativos. Os intervalos de temperaturas externas das cidades foram calculados com base nos valores de temperatura de bulbo seco média mensal (TBSm).

Tabela 1: Cidades analisadas.

Cidades	Zona bioclimática [10]	Classificação Köppen	Intervalos de temperaturas externas [5]
Manaus (AM)	6A	Af	3
São Paulo (SP)	2M	Cfb	1
Rio de Janeiro (RJ)	4A	Am	1
Belo Horizonte (MG)	3B	Cwb	1
Florianópolis (SC)	3A	Cfa	1
Uberlândia (MG)	3B	Cwa	1
Fortaleza (CE)	6A	As	3
Cuiabá (MT)	5B	Aw	2
Paulo Afonso (BA)	5B	Bsh	2

Fonte: o autor.

As cargas internas e os períodos de uso e ocupação foram inseridos conforme as definições da NBR 15.575-1 [5]. A modelagem e a execução das simulações com e sem ventilação natural, também seguiram as determinações normativas.

Os materiais da envoltória e da cobertura foram selecionados com base nas propriedades da estrutura e tipologia da residência. As propriedades térmicas dos materiais estão descritas nas Tabelas 2 e 3. A ordem da disposição dos materiais nos elementos construtivos usada em todos os contêineres está apresentada no Quadro 1. A Tabela 4 apresenta os dados referentes ao solo. As superfícies externas possuem absortância de 0,58, valor equivalente às paredes externas do modelo de referência normativo [5].

Tabela 2: Características dos materiais utilizados na simulação computacional.

Material	Condutividade térmica (W/m.K)	Densidade (kg/m^3)	Calor específico (J/kg.K)	Absortância	Espessura (m)
Aço	52	7800	450	0,75	0,05
Madeira para porta	0,15	650	2300	0,9	0,03
Vidro para janela	1	2500	840	0,25	0,003
Compensado	0,15	600	2300	0,9	0,03
Gesso cartonado	0,35	750	840	0,9	0,01
Placa de gesso	0,46	1400	840	0,9	0,0125
Lã de rocha	0,045	960	837	0,9	0,09
Placa cimentícia	0,35	1200	1000	0,9	0,01

Fonte: NBR 15.220-2 [11] e Protolab [12].

Tabela 3: Características dos materiais isolantes utilizados na simulação computacional.

Material	Resistência térmica (m^2.K/W)
Espuma rígida de poliuretano	0,66
Camada de ar (cobertura)	0,21

Fonte: NBR 15.575-1 [5] e NBR 15.220-2 [11].

Quadro 1: Disposição dos materiais para os elementos construtivos.

Elementos	**Disposição**
Parede externa do modelo real	Contêiner + espuma rígida de poliuretano + compensado
Cobertura do modelo real	Contêiner + espuma rígida de poliuretano + gesso
Piso do modelo real	Contêiner + espuma rígida de poliuretano + compensado
Parede interna do modelo real	Placa de gesso + lã de rocha + placa cimentícia

Fonte: o autor.

Tabela 4: Propriedades do solo.

Condutividade térmica (W/m.K)	Densidade (kg/m³)	Calor específico (J/kg.K)
1	1250	1200

Fonte: o autor.

DADOS DE SAÍDA DOS MODELOS SIMULADOS

Para avaliar o nível mínimo de desempenho da norma, é necessário calcular dois indicadores: o percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa (PHFT) e as temperaturas operativas anuais máximas e mínimas (Tomáx e Tomín). Para a avaliação dos níveis intermediário e superior, deve-se calcular as cargas térmicas totais (CgTT). Essas cargas são determinadas por meio de simulações com e sem o uso de ventilação natural, calculando as reduções de carga térmica totais (RedCgTT) entre os modelos de referência e os reais. O cálculo do PHFT varia de acordo com os intervalos de temperaturas externas das cidades.

Durante a simulação, a temperatura operativa horária do ambiente foi uma das variáveis de saída. O critério de PHFT deve ser calculado conforme os limites de temperatura específicos de cada cidade, garantindo uma avaliação do desempenho térmico em diferentes condições climáticas. Destaca-se que para atender aos critérios mínimos, o percentual do modelo real deve ser superior a 90% do percentual do modelo de referência. O PHFT foi calculado conforme a Equação 1.

$$\mathrm{PHFT_{APP}} = \frac{\mathrm{NhFT}}{\mathrm{NhOcup}} \times 100 \qquad (1)$$

Onde:

$PHFT_{APP}$ é o percentual de horas ocupadas do ambiente de permanência prolongada dentro da faixa de temperatura operativa (%);

NhFT é o número de horas em que o ambiente de permanência prolongada se encontra ocupado e com temperaturas operativas dentro do intervalo definido;

NhOcup é o número de horas em que o ambiente de permanência prolongada está ocupado ao longo do ano, sendo 2.920 horas para salas e 3.650 horas para dormitórios;

A Tomáx do modelo real não pode exceder a do modelo de referência em mais de 2°C para unidades habitacionais unifamiliares, e a temperatura mínima do modelo real deve ser igual ou superior à do modelo de referência menos 1ºC. O critério de Tomín se aplica apenas às cidades no intervalo 1.

Para alcançar os níveis de desempenho intermediário e superior, a diferença entre o PHFT do modelo real e do modelo de referência, conhecida como incremento do PHFT (ΔPHFT), deve ser igual ou superior ao incremento mínimo (ΔPHFTmín) da NBR 15.575-1 [5]. O ΔPHFT é calculado subtraindo o valor de $PHFT_{UH}$ real do valor de referência e comparado ao ΔPHFTmín dos níveis intermediário e superior, determinados na norma quando o $PHFT_{UH}$ de referência é igual ou inferior a 70%.

Durante a simulação sem ventilação natural, foram consideradas as cargas térmicas anuais de aquecimento (CgTA) e refrigeração (CgTR). Outro indicador relevante é a

CgTT, calculada como a soma de CgTA e CgTR. Embora não haja um critério mínimo estabelecido para a análise das cargas térmicas, é essencial para atingir os níveis intermediário e superior. A RedCgTT em relação ao modelo de referência é descrita na norma, conforme a Equação 2.

$$\mathrm{RedCgTT} = \left[1 - \frac{\mathrm{CgTT_{UH,real}}}{\mathrm{CgTT_{UH,ref}}}\right] \times 100 \qquad (2)$$

Onde:

RedCgTT é a redução de carga térmica;

$CgTT_{UH,real}$ é a carga térmica total da unidade habitacional para o modelo real;

$CgTT_{UH,ref}$ é a carga térmica total da unidade habitacional para o modelo de referência.

Para alcançar os níveis de desempenho intermediário e superior, a RedCgTT, calculada por meio da Equação 2, foi comparada à RedCgTTmín. A RedCgTTmín é determinada conforme as instruções do anexo da norma de desempenho, que estabelece seu valor com base na relação entre a carga térmica total de referência ($CgTT_{UH}$,ref) e a área de piso do ambiente de permanência prolongada (APP), considerando sua tipologia como unidade habitacional unifamiliar.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção, os resultados das simulações são detalhados e discutidos. Fez-se comparações entre os contêineres em cada modelo, destacando as diferenças entre o modelo de referência e o modelo real, juntamente com os níveis de desempenho para cada residência.

PHFT E TEMPERATURA OPERATIVA

Os resultados do critério PHFT e temperatura operativa estão apresentados nas Tabelas 5 e 6, respectivamente. A Tabela 5 evidencia que o contêiner 1 apresenta menos atendimentos do critério PHFT em comparação com os contêineres 2 e 3. Porém, para algumas localidades e orientações solares, os contêineres 2 e 3 não atingem esse critério.

Ao analisar a Tabela 6, ressalta-se que o contêiner 1 também se destacou por ser o módulo que menos atendeu ao critério de temperatura, porém, para algumas orientações o contêiner 3 também não atingiu esse critério. Entretanto, o contêiner 2 atendeu ao critério de temperatura operativa anual máxima e mínima em todas as cidades.

Tabela 5: Atendimento do critério de PHFT.

Cidade	Módulo	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
Manaus	Contêiner 1	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓
	Contêiner 2	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓
	Contêiner 3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
São Paulo	Contêiner 1	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✓	✓
	Contêiner 2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Contêiner 3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Rio de Janeiro	Contêiner 1	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓
	Contêiner 2	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✓	✗
	Contêiner 3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Belo Horizonte	Contêiner 1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Contêiner 2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Contêiner 3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Florianópolis	Contêiner 1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Contêiner 2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Contêiner 3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Uberlândia	Contêiner 1	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓
	Contêiner 2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Contêiner 3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Fortaleza	Contêiner 1	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗
	Contêiner 2	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
	Contêiner 3	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Cuiabá	Contêiner 1	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✓	✓
	Contêiner 2	✗	✗	✓	✓	✗	✗	✓	✓
	Contêiner 3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Paulo Afonso	Contêiner 1	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓
	Contêiner 2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Contêiner 3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Nota: ✓= Atende e ✗= Não atende. Fonte: o autor.

Nas cidades de Manaus, São Paulo, Rio de Janeiro, Uberlândia e Fortaleza, a residência não atingiu os critérios mínimos, resultando na impossibilidade de alcançar os níveis intermediário e superior. Em Manaus, o critério de PHFT foi atendido para duas orientações, mas o contêiner 3 não alcançou o critério de temperatura operativa. Em São Paulo, apenas a orientação 135° teve os três contêineres atingindo o critério de temperatura operativa, porém sem atender ao critério de PHFT. No Rio de Janeiro, os contêineres 1 e 2 não atingiram o critério de PHFT, apesar de o contêiner 3, que está na cobertura, ser o único a atingir o critério em todas as orientações. Em Uberlândia, o contêiner 1 não atende ao critério de PHFT em cinco orientações (90°, 135°, 180°, 225° e 270°), porém o critério de temperatura operativa foi atingido em algumas destas. Em Fortaleza, o critério de PHFT foi atendido em apenas para a orientação solar 270° e para o contêiner 1, indicando a necessidade de reavaliar esse tipo de construção sem a introdução de outras estratégias passivas.

Tabela 6: Atendimento do critério de temperatura operativa.

Cidades	Módulo	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
Manaus	Contêiner 1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Contêiner 2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Contêiner 3	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗
São Paulo	Contêiner 1	✓	✗	✗	✓	✗	✓	✓	✓
	Contêiner 2	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✗
	Contêiner 3	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓
Rio de Janeiro	Contêiner 1	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✓	✓
	Contêiner 2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Contêiner 3	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗
Belo Horizonte	Contêiner 1	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✓	✓
	Contêiner 2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Contêiner 3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Florianópolis	Contêiner 1	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✓	✓
	Contêiner 2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Contêiner 3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Uberlândia	Contêiner 1	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✗
	Contêiner 2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Contêiner 3	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗
Fortaleza	Contêiner 1	✓	✗	✓	✓	✗	✓	✓	✓
	Contêiner 2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Contêiner 3	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗
Cuiabá	Contêiner 1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Contêiner 2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Contêiner 3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Paulo Afonso	Contêiner 1	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓
	Contêiner 2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Contêiner 3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Nota: ✓= Atende e ✗= Não atende. Fonte: o autor.

Destaca-se que somente Belo Horizonte, Florianópolis, Cuiabá e Paulo Afonso atingiram o nível mínimo. Porém, nota-se que o atingimento do nível mínimo ocorreu para determinadas orientações solares. As cidades de Belo Horizonte, Florianópolis e Cuiabá atingiram o nível mínimo para pelo menos duas orientações solares, enquanto Paulo Afonso atingiu o nível mínimo para a orientação 0°.

ΔPHFT E REDUÇÃO DE CARGA TÉRMICA TOTAL

Ao avaliar os critérios de ΔPHFT e RedCgTT, para os níveis intermediário e superior, apresentados na Tabela 7, nota-se que em nenhuma das cidades atingiu-se a ambos os critérios.

Tabela 7: Atendimento do critério de ΔPHFT e redução de carga térmica total.

Cidades	Módulo	Critério		0°	45°	270°	315°
Belo Horizonte	Contêiner 1	ΔPHFT	Intermediário	✗	-	-	✗
		RedCTTmín		✓	-	-	✓
		ΔPHFT	Superior	✗	-	-	✗
		RedCTTmín		✓	-	-	✓
	Contêiner 2	ΔPHFT	Intermediário	✗	-	-	✗
		RedCTTmín		✗	-	-	✗
		ΔPHFT	Superior	✗	-	-	✗
		RedCTTmín		✗	-	-	✗
	Contêiner 3	ΔPHFT	Intermediário	✗	-	-	✗
		RedCTTmín		✗	-	-	✗
		ΔPHFT	Superior	✗	-	-	✗
		RedCTTmín		✗	-	-	✓
Florianópolis	Contêiner 1	ΔPHFT	Intermediário	✗	✗	-	-
		RedCTTmín		✓	✓	-	-
		ΔPHFT	Superior	✗	✗	-	-
		RedCTTmín		✓	✓	-	-
	Contêiner 2	ΔPHFT	Intermediário	✗	✗	-	-
		RedCTTmín		✗	✓	-	-
		ΔPHFT	Superior	✗	✗	-	-
		RedCTTmín		✗	✓	-	-
	Contêiner 3	ΔPHFT	Intermediário	✗	✗	-	-
		RedCTTmín		✓	✓	-	-
		ΔPHFT	Superior	✗	✗	-	-
		RedCTTmín		✓	✓	-	-
Cuiabá	Contêiner 1	ΔPHFT	Intermediário	-	-	✗	✗
		RedCTTmín		-	-	✓	✓
		ΔPHFT	Superior	-	-	✗	✗
		RedCTTmín		-	-	✓	✓
	Contêiner 2	ΔPHFT	Intermediário	-	-	✗	✗
		RedCTTmín		-	-	✓	✓
		ΔPHFT	Superior	-	-	✗	✗
		RedCTTmín		-	-	✓	✓
	Contêiner 3	ΔPHFT	Intermediário	-	-	✗	✗
		RedCTTmín		-	-	✓	✓
		ΔPHFT	Superior	-	-	✗	✗
		RedCTTmín		-	-	✓	✓
Paulo Afonso	Contêiner 1	ΔPHFT	Intermediário	✗	-	-	-
		RedCTTmín		✓	-	-	-
		ΔPHFT	Superior	✗	-	-	-
		RedCTTmín		✓	-	-	-
	Contêiner 2	ΔPHFT	Intermediário	✗	-	-	-
		RedCTTmín		✗	-	-	-
		ΔPHFT	Superior	✗	-	-	-
		RedCTTmín		✗	-	-	-
	Contêiner 3	ΔPHFT	Intermediário	✗	-	-	-
		RedCTTmín		✓	-	-	-
		ΔPHFT	superior	✗	-	-	-
		RedCTTmín		✗	-	-	-

Nota: ✓= Atende e ✗= Não atende. Fonte: o autor.

Destaca-se que a maioria dos contêineres atingiu o critério de RedCgTT, porém em nenhuma cidade ou orientação solar o critério ΔPHFT foi alcançado. Para algumas orientações solares, a estratégia de empilhamento mostrou-se vantajosa, mas é necessário incorporar outras estratégias de resfriamento para garantir o cumprimento dos níveis mínimo, intermediário e superior em todas as cidades.

Comparando com a avaliação feita por Oliveira e Ghisi [9], que deram preferência à avaliação de uma residência térrea, observa-se que com o empilhamento de contêineres é possível atingir o nível mínimo da norma. Nota-se que na simulação realizada com empilhamentos, os contêineres, para algumas orientações solares, atingem o nível mínimo, ao contrário de uma residência sem empilhamento.

Ao analisar os parâmetros da envoltória, destaca-se que a edificação deve ser pintada, principalmente em locais com temperaturas mais elevadas, com cores mais claras. Para locais com verões mais amenos, o uso de cores médias pode auxiliar no desempenho térmico. Além disso, a combinação do isolamento com uma cobertura adicional auxilia na obtenção de temperaturas internas mais amenas, o que pode ser interessante para as cidades que não atingiram o nível mínimo da norma devido ao parâmetro de temperatura operativa [13].

CONCLUSÕES

Este trabalho buscou avaliar a influência do padrão de empilhamento e da orientação solar no desempenho térmico de residências construídas com contêiner. As simulações realizadas em nove cidades de diferentes zonas bioclimáticas brasileiras destacam o potencial das construções em contêineres, especialmente ao abordar estratégias de empilhamento em conjunto com a análise da variação da orientação solar. Ao analisar a orientação solar nos contêineres, nota-se que, dependendo da localidade, posição de empilhamento e orientação solar, há diferenças no atendimento dos níveis de desempenho.

Embora os dormitórios, nos contêineres 2 e 3, atendam majoritariamente aos padrões mínimos de desempenho, persistem desafios nas áreas com padrão de uso diurnos devido às propriedades térmicas dos contêineres. A aplicação de técnicas de empilhamento oferece oportunidades para otimizar o uso do espaço e melhorar o desempenho da residência, todavia é importante considerar a influência do entorno da edificação, por impactar no padrão de sombreamento e na ventilação natural.

Os resultados das simulações revelam divergências de desempenho em diferentes cidades e orientações solares, destacando a complexidade dos fatores que influenciam o desempenho térmico em edificações contêiner. Apenas para as cidades de Belo Horizonte, Florianópolis, Cuiabá e Paulo Afonso e em certas orientações solares foi possível atender os critérios para o nível mínimo de desempenho, permitindo avaliação para os níveis intermediário e superior. Entretanto, nenhuma das cidades atenderam os critérios de redução da carga térmica total e ΔPHFT necessários para esses níveis. Destaca-se que as cidades que cumpriram o nível mínimo de desempenho estão em climas mais amenos ou secos. Melhorar a distribuição das áreas envidraçadas

em combinação com a orientação solar pode contribuir para o atendimento do nível mínimo de desempenho térmico. Além da diferença de incidência de radiação nas zonas térmicas, deve-se considerar também em quais orientações há a predominância dos ventos em cada localidade.

Essa análise mostra como diferentes zonas térmicas (sala e dormitórios) estão sujeitas a desempenhos térmicos distintos com a combinação da estratégia de empilhamento de contêineres, pois mesmo em climas mais amenos, alcançar o nível mínimo de desempenho é um desafio em residências feitas com contêiner.

AGRADECIMENTOS

Os autores são gratos à Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsas para o primeiro e segundo autores.

REFERÊNCIAS

[1] BORGES, F. Q. Crise de energia elétrica no brasil - Uma breve reflexão sobre a dinâmica de suas origens e resultados. **RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar**, v. 2, n. 10, p. e210809, 2021. DOI: https://doi.org/10.47820/recima21.v2i10.809.

[2] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA**. Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2022**: Ano base 2021. 2022. Disponível em: https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica. Acesso em: 15 fev. 2023.

[3] BEN - BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL. **BEN Relatório Síntese**. Disponível em: https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-ben. Acesso em: 15 fev. 2023.

[4] IEA. **IEA Energy System**. buildings. 2023. Disponível em: https://www.iea.org/energy-system/buildings. Acesso em: 10 jan. 2024.

[5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.575-1**: Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2024.

[6] ZUKOWSKI, M. A Small Modular House as a Response to the Energy Crisis. **Energies**, v. 15, n. 21, p. 8058, 2022. DOI: https://doi.org/10.3390/en15218058.

[7] HASSAN, A. S.; BOTROS, C. R.; KAMAL, M. N.; MORSI, N. M.; ELFEKY, Y. S. Thermal Performance Assessment for Stacking Shipping Contêiners as Habitable Spaces: Cairo Case Study. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 1056, n. 1, p. 012024, 2022. DOI: 10.1088/1755-1315/1056/1/012024.

[8] SLAWIK, H. **Contêiner Atlas: a practical guide to contêiner architecture**. 5. ed. Berlin: Die Gestalten Verl, 2015.

[9] OLIVEIRA, J.; GHISI, E. Desempenho térmico de residências contêiner em climas quentes. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2023, São Paulo. **Anais [...]** São Paulo: Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2023. p. 1–9.

[10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **TR 15.220-3-1**: Desempenho térmico de edificações Parte 3-1: Zoneamento bioclimático por desempenho — Lista de cidades brasileiras. Rio de Janeiro, 2024

[11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.220-2**: Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Métodos de

cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

[12] PROTOLAB. **Tabela de condutividade térmica de materiais de construção**. Disponível em: http://www.protolab.com.br/Tabela-Condutividade-Material-Construcao.htm. Acesso em: 24 julho 2024.

[13] 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**, v. 10, p. 11-21, 2019. DOI: http://dx.doi.org/10.20396/parc.v10i0.8652794.