DESEMPENHO TÉRMICO DE RESIDÊNCIAS *CONTAINER* EM CLIMAS QUENTES

Joana Oliveira; Enedir Ghisi
(1) Mestranda do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, jojuca.aninha@gmail.com
(2) PhD, Professor do Departamento de Engenharia Civil, enedir.ghisi@ufsc.br
Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Cx Postal 476, Florianópolis–SC, 88040-970, Tel.: (48) 3721 2115

RESUMO
Este trabalho tem como objetivo analisar a influência de diferentes parâmetros de isolamento da envoltória no desempenho térmico das áreas de permanência prolongada de uma residência *container* unifamiliar. A análise consistiu na seleção de três cidades brasileiras com climas distintos, Manaus, Paulo Afonso e Cuiabá, e na aplicação dos requisitos normativos da NBR 15.575/2021. Realizaram-se simulações computacionais considerando quatro configurações diferentes de materiais isolantes nas paredes e na cobertura. Os resultados da análise indicaram que os ambientes de permanência prolongada apresentaram comportamentos distintos no nível mínimo. As análises dos níveis intermediários e superiores foram realizadas para abranger todos os indicadores de desempenho da norma. Os resultados indicam que nenhum dos modelos de isolamento atingiu esses dois níveis, pois os ambientes não atenderam aos critérios de redução de carga térmica anual total e não alcançaram valores de incremento iguais ou superiores aos requisitos mínimos para cada nível de desempenho. Com base nos resultados da pesquisa, concluiu-se que o uso de *containers* com materiais isolantes convencionais em climas quentes acentua a diferença de desempenho entre os cômodos, exigindo ajustes e correções projetuais.

Palavras-chave: *container*, NBR 15.575, isolamento, simulação computacional.

ABSTRACT
This paper aims to analyse the influence of different envelope insulation parameters on thermal performance of long-permanence rooms of a single-family container house. The analysis involved the selection of three Brazilian cities with different climates, Manaus, Paulo Afonso, and Cuiabá, and the application of the normative requirements of Brazilian Standard 15.575/2021. Computational simulations were conducted considering four different configurations of insulation materials on walls and roof. The analysis of results indicated that long-permanence rooms had different behaviours at the minimum performance level. Analyses of the intermediate and higher levels were performed to encompass all performance indicators required by the Brazilian Standard. The results showed that none of the insulations models achieved such levels because none of the rooms satisfied the criteria for total annual thermal load reduction and did not have increment values equal to or higher than the minimum requirements for each performance level. Based on the research results, it can be concluded that the use of containers with conventional insulation materials in hot climates increases the difference in performance between the rooms, requiring adjustments and design corrections.

Keywords: container, Brazilian Standard 15.575, insulation, computer simulation.

1. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas e o aumento de eventos extremos são consequências da intensa emissão de poluentes na atmosfera. Sob esse aspecto, a indústria da construção civil é um dos grandes poluidores globais. Segundo a UNEP (2022), em 2021, para a produção de materiais de construção foram emitidas 3,6 Gt de CO_2 e a operação de edifícios emitiu 10 Gt de CO_2, 2% maior do que o pico de 2019. Assim, é importante repensar o consumo de recursos no desenvolvimento do setor produtivo.

Ao considerar a minimização do consumo dos recursos, a economia circular surge como um modelo de produção que tem como premissa a integração do desenvolvimento econômico com a gestão eficiente de recursos naturais por meio da maximização do aproveitamento dos recursos e da otimização dos processos de fabricação. Assim, prioriza-se a utilização de insumos recicláveis, duráveis e renováveis, como por exemplo a reutilização na construção civil de *containers* marítimos descartados. Bertolini e Guardigli (2020) destacaram que a acumulação de resíduos na economia linear é um problema que necessita de solução urgente. Nesse sentido, o reúso de *containers* marítimos como componente para construção de edificações, após sua vida útil, pode evitar o desperdício e os gastos com o armazenamento dessas estruturas.

Diante dessa problemática e devido às características de padronização, tem-se estudado o uso de *containers* para construção modular de componentes pré-fabricados. Os *containers* podem ser utilizados para diferentes aplicações, como edificações temporárias para assentamentos pós-desastre, edificações comerciais, institucionais e residenciais (ZAFRA et al., 2021; SHEN et al., 2020). A rápida velocidade de construção, a facilidade na gestão de custo e da qualidade, e a característica de ser um bloco de construção móvel são alguns atrativos para o uso desta arquitetura modular. Porém, este reaproveitamento ainda é questionado devido às propriedades térmicas do material, como a baixa resistência térmica. Sob esse aspecto, o ambiente térmico de edificações fabricadas em *container* é mais sensível a eventos extremos de temperatura, portanto trata-se de um fator relevante principalmente quando se avaliam as condições climáticas futuras (SHEN et al., 2020).

Containers são estruturas fabricadas em material metálico, exceto o piso feito em compensado, e apresentam dimensões padronizadas. Os modelos mais comuns apresentam largura padrão de 2,44 m, e comprimento de 6,09 m e 12,18 m, convencionalmente comercializados como modelos de 20 e 40 pés, respectivamente. São componentes projetados para resistir ao fogo, à ferrugem e ao bolor. Embora sua utilização para residências atenda aos ideais sustentáveis, de modularização e industrialização da construção, seu emprego deve ser avaliado quanto à adequação ambiental ao local de implantação (SHEN et al., 2020). Assim, por causa da alta condutividade térmica do material do *container*, necessita-se prever estratégias para evitar as perdas e ganhos excessivos de calor e promover um ambiente interno confortável. Ademais, melhorar o desempenho térmico de uma residência *container* tem grande efeito na economia de energia. Assim, faz-se necessário avaliar a escolha de materiais para o aumento do isolamento térmico, como lã mineral, lã de pet e espumas de poliuretano, e de um sistema de ventilação que permita a renovação do ar (ELRAYIES, 2017).

Elrayies (2017) realizou um estudo em Porto Said (Egito), clima quente e úmido, e concluiu que o isolamento com célula fechada com espuma de poliuretano apresentou o melhor resultado com o menor total de horas em desconforto térmico. Hassan et al. (2022) investigaram a influência da configuração espacial dos módulos de *containers* para habitação e perceberam que construções verticalizadas apresentaram melhor desempenho no verão. Salientaram que a utilização de residências *container* em locais de clima quente é pouco difundida devido à desconfiança e baixa aceitação do sistema construtivo. Assim, pesquisas estão sendo desenvolvidas a fim de investigar a viabilidade dessa implementação considerando, particularmente, aspectos da qualidade do ambiente interno.

No Brasil, a avaliação do desempenho térmico de edificações residenciais pode ser realizada conforme os critérios dispostos na NBR 15.575 (ABNT, 2021), por meio do procedimento simplificado (observação das propriedades dos materiais e/ou componentes construtivos) ou de simulações computacionais. Para o último método, deve-se simular a residência projetada e o modelo referência considerando as condições com e sem ventilação natural, a fim de comparar os resultados de acordo com os indicadores de desempenho estabelecidos: percentual de horas de ocupação dentro de uma faixa de temperatura operativa; temperatura operativa anual máxima e mínima da unidade habitacional; e carga térmica total.

Observa-se a importância de estudos para avaliação de desempenho térmico de residências fabricadas com *container* de modo a fornecer diretrizes para facilitar a tomada de decisão em fase de projeto. A escolha de parâmetros, tais como materiais da envoltória e esquadrias, estratégias bioclimáticas, posicionamento das aberturas e *layout* de composição dos módulos de *containers*, é fundamental para boa adequação ambiental do edifício e colabora para a promoção de ambientes construídos mais confortáveis e eficientes.

2. OBJETIVO

O objetivo do estudo é avaliar a influência de parâmetros da envoltória (isolamento das paredes e da cobertura) no desempenho térmico de uma residência *container* unifamiliar ao considerar os climas: tropical de monção, tropical úmido e seco árido.

3. MÉTODO

O método deste trabalho foi dividido em três etapas principais:

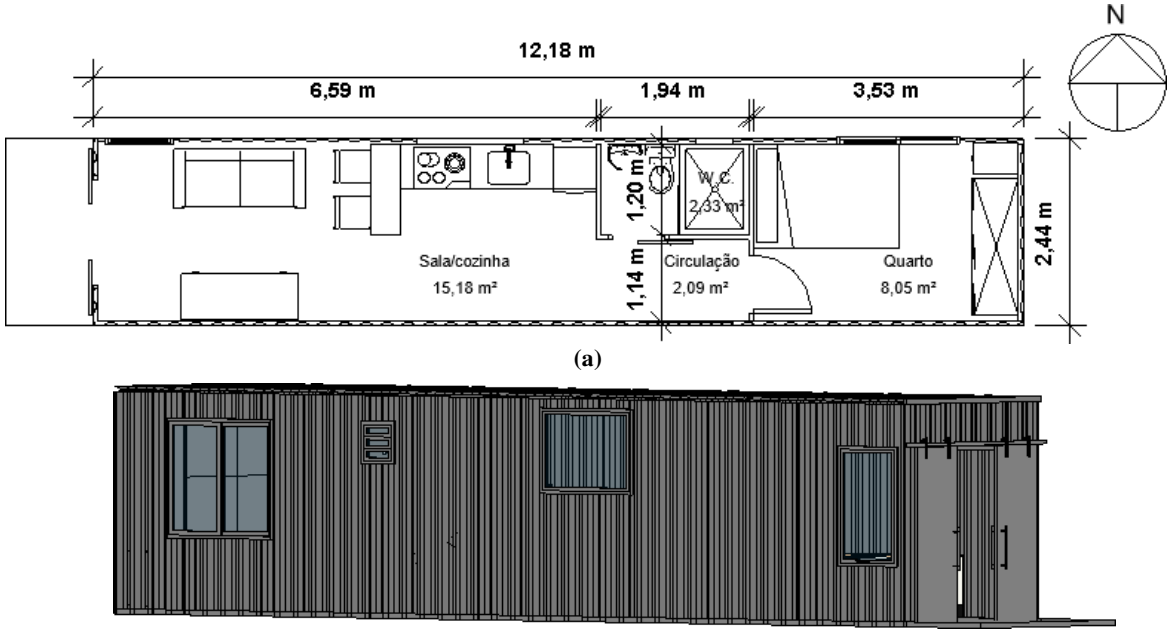
1. Definição dos casos para simulação;
2. Realização das simulações de acordo com procedimento proposto pela NBR 15.575 (ABNT, 2021);
3. Análise dos resultados considerando os indicadores de desempenho previstos na NBR 15.575 (ABNT, 2021).

A primeira etapa compreendeu a definição da residência, dos climas e dos parâmetros da envoltória a serem analisados (modelos de cobertura e de isolamento das paredes). A segunda etapa trata da realização das simulações computacionais. Inicialmente, foi realizada a modelagem da edificação no *software* SketchUp Maker (versão 17.0) com a extensão Euclid (versão 0.9.4.4). Posteriormente, as simulações foram realizadas no *software* EnergyPlus (versão 22.1.0). Os dados de entrada (rotinas de ocupação, período de simulação, e cargas internas) seguiram o procedimento da NBR 15.575 (ABNT, 2021). A terceira etapa consistiu na análise dos resultados por meio da obtenção dos seguintes indicadores: percentual de horas de ocupação dentro de uma faixa de temperatura operativa, temperaturas operativas máxima e mínima e carga térmica total. Para fins de comparação, também foram realizadas as simulações do modelo referência, como recomendado pela referida norma.

3.1. Definição e caracterização do modelo habitacional

O modelo analisado foi uma habitação unifamiliar térrea com a estrutura de *container* marítimo de modelo 40 pés (12,18 m x 2,44 m). A residência possui 29,72 m² de área privativa. Salienta-se que, para fins desse trabalho, o entorno foi desconsiderado na simulação para evitar influências de sombreamento e reflexão provenientes de outras edificações.

A sala e o quarto possuem 15,18 m² e 8,05 m² de área útil, respectivamente. As esquadrias em contato com o ambiente externo têm orientações norte e oeste. A Figura 1 apresenta a planta baixa da edificação modelo (Figura 1a) e a perspectiva da residência com detalhamento das fachadas norte e oeste (Figura 1b).



(a)

(b)

Figura 1 - (a) Planta baixa da residência analisada; (b) perspectiva da residência com detalhamento das fachadas norte e oeste.

As janelas estão localizadas na fachada norte e são compostas por vidro simples incolor de 3 mm com esquadrias de alumínio. Na sala e na cozinha, as áreas das janelas são 1,26 m² e 1,40 m², respectivamente, e sua abertura é maxim-ar, enquanto a janela do dormitório tem área 2,24 m² e é de correr. A esquadria da fachada oeste é uma porta de correr de madeira de 3 cm com 2,94 m².

3.2. Simulações computacionais

Foram utilizados os arquivos climáticos de três cidades quentes Manaus (AM), Cuiabá (MT) e Paulo Afonso (BA), com as seguintes classificações climáticas de Köppen: tropical de monção (Am), tropical úmido e seco (Aw) e seco árido (BSh), como apresentado na Tabela 1. De acordo com a NBR 15.220-3 (ABNT, 2005), Manaus está na zona bioclimática 8 enquanto Cuiabá e Paulo Afonso estão na 7. Os arquivos climáticos utilizados foram obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia (LABEEE, 2018).

Tabela 1 – Características das cidades utilizadas nas simulações computacionais.

Cidade	**Latitude**	**Zona bioclimática**	**Classificação Köppen**
Manaus	3°02'S	8	Am
Cuiabá	15°56'S	7	Aw
Paulo Afonso	9°24'S	7	Bsh

A Tabela 2 apresenta o período de uso e ocupação e as cargas térmicas, conforme definido no procedimento de simulação da NBR 15.575-1 (ABNT, 2021). Para a simulação do modelo foi determinado que as esquadrias da sala/cozinha e do quarto se abririam somente quando o cômodo estivesse ocupado e a temperatura de bulbo seco interna fosse igual ou superior a 19ºC e superior à temperatura de bulbo seco externa.

Tabela 2 - Cargas internas e períodos de ocupação considerados nas simulações.

Cômodo	**Fonte de calor**			**Períodos de uso**
Sala	Pessoas	Ocupação	2 pessoas	14:00 – 21:59
		Taxa metabólica	108 W/pessoa	
		Fração radiante	0,30	
	Iluminação	Densidade de potência instalada	5,0 W/m²	16:00 – 21:59
		Fração radiante	0,32	
		Fração visível	0,23	
	Equipamento	Carga interna total	120 W	14:00 – 21:59
		Fração radiante	0,30	
Quarto	Pessoas	Ocupação	2 pessoas	00:00 – 7:59 22:00 – 23:59
		Taxa metabólica	81 W/pessoa	
		Fração radiante	0,30	
	Iluminação	Densidade de potência instalada	5,0 W/m²	06:00 – 7:59 22:00 – 23:59
		Fração radiante	0,32	
		Fração visível	0,23	

As simulações sem o uso de ventilação natural consideraram as portas e janelas fechadas durante o ano todo, e os coeficientes de infiltração seguiram os indicados pela norma (ABNT, 2021). Para o cálculo da carga térmica, foi definido um sistema de refrigeração considerado ideal, portanto não perde energia para a retirada do calor, com a temperatura de *setpoint* de refrigeração de 23ºC. O funcionamento do sistema está condicionado à ocupação do ambiente.

Na Tabela 3 estão descritas as propriedades dos materiais utilizados na simulação da envoltória e da cobertura, que são: condutividade térmica, densidade, calor específico, absortância e resistência térmica. Esses materiais foram selecionados de acordo com os componentes do *container*. Considerou-se que o *container* não recebeu pintura e, portanto, suas paredes têm a cor e a absortância iguais ao aço galvanizado novo e brilhante. Na Tabela 4 são apresentadas as características dos isolantes simulados nos modelos propostos.

Tabela 3 – Características dos materiais utilizados nas simulações computacionais.

Material	**Condutividade térmica [W/m.K]**	**Densidade [kg/m³]**	**Calor específico [J/kg.K]**	**Absortância**
Aço galvanizado	55,00	7800	460	0,25
Madeira para porta	0,15	650	2300	0,90
Telha de fibrocimento	0,65	1700	840	0,90
Vidro para janela	1,00	2500	840	**Fator solar:** 0,87

Tabela 4– Características dos materiais isolantes utilizados nas simulações computacionais.

Material	**Resistência térmica [m².K/W]**
Lã de rocha	0,44
Poliestireno expandido moldado	0,49
Poliestireno extrudado	0,57
Espuma rígida de poliuretano	0,66

Destaca-se que, para a simulação, foi considerado que a residência está em contato com o solo. Utilizou-se a condutividade térmica do solo de 1 W/m.K.

Os isolantes das paredes e da cobertura, e a laje da cobertura, foram os parâmetros alterados nas simulações. Assim, obteve-se cinco modelos que foram simulados para cada uma das três cidades mencionadas na seção 3.1. Na Tabela 5, são apresentadas as composições das paredes analisadas em cada modelo, enquanto na Tabela 6~~,~~ são descritas as composições das coberturas de acordo com a zona climática da cidade.

Tabela 5– Composição das paredes dos modelos simulados.

Modelos	**Composição**	**Zona bioclimática**	**Transmitância [W/m²K]**	**Capacidade térmica [kJ/m²K]**
Referência	Parede de referência	1 a 8	17,50	220,00
Lã de rocha	Aço galvanizado + lã de rocha	1 a 8	2,27	23,18
Poliestireno expandido moldado	Aço galvanizado + poliestireno expandido moldado	1 a 8	2,04	22,24
Poliestireno extrudado	Aço galvanizado + poliestireno extrudado	1 a 8	1,75	22,45
Espuma rígida de poliuretano	Aço galvanizado + espuma rígida de poliuretano	1 a 8	1,51	22,70

Tabela 6 – Composição das coberturas dos modelos simulados

Modelos	**Composição**	**Zona bioclimática**	**Transmitância [W/m²K]**	**Capacidade térmica [kJ/m²K]**
Referência	Telha + camada de ar + laje	1 a 7	3,62	228,57
	Telha + camada de ar + isolante + laje	8	1,06	231,04
Lã de rocha	Telha + camada de ar + aço galvanizado	1 a 7	4,56	30,10
	Telha + camada de ar + lã de rocha + aço galvanizado	8	1,52	31,75
Poliestireno expandido moldado	Telha + camada de ar + aço galvanizado	1 a 7	4,56	30,10
	Telha + camada de ar + poliestireno expandido moldado + aço galvanizado	8	1,41	30,81
Poliestireno extrudado	Telha + camada de ar + aço galvanizado	1 a 7	4,56	30,10
	Telha + camada de ar +poliestireno extrudado+ aço galvanizado	8	1,27	31,02
Espuma rígida de poliuretano	Telha + camada de ar + aço galvanizado	1 a 7	4,56	30,10
	Telha + camada de ar + espuma rígida de poliuretano+ aço galvanizado	8	1,14	31,27

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos por meio do procedimento de simulação computacional aplicado à residência analisada em cada uma das cidades, juntamente com seus respectivos indicadores.

4.1. Temperatura operativa

A avaliação do nível mínimo de desempenho térmico utiliza os seguintes indicadores: percentual de horas de ocupação dentro da faixa de temperatura operativa (PHFT) e temperatura operativa anual máxima (Tomáx). As Equações 1 e 2 descrevem os critérios solicitados na NBR 15.575 (ABNT, 2021) para a avaliação do nível de desempenho mínimo.

$$\text{PHFT REAL} \geq 0{,}9 \times \text{PHFT REF} \qquad \text{Equação 1}$$

Onde:

PHFT REAL é o percentual de horas de ocupação dentro da faixa de temperatura operativa nos modelos analisados [%];

PHFT REF é o percentual de horas de ocupação dentro da faixa de temperatura operativa no modelo de referência.

$$\text{Tomáx REAL} \leq \text{Tomáx REF} + 2\ °C \qquad \text{Equação 2}$$

Onde:
Tomáx REAL é a temperatura operativa máxima dos modelos analisados [°C];
Tomáx REF é a temperatura operativa máxima do modelo de referência [°C].

A Tabela 7 apresenta o PHFT e Tomáx para cada área analisada em suas respectivas cidades. Observa-se, que em todos os modelos das cidades analisadas, os critérios estabelecidos na norma são atendidos nos dormitórios. Porém, as salas não atendem ao critério de Tomáx.

Embora um dos cômodos da residência não atenda aos critérios mínimos de desempenho, é importante destacar que o modelo Espuma rígida apresenta os menores valores de Tomáx em todas as cidades. No entanto, na cidade de Manaus, tanto esse modelo quanto os outros apresentam os menores valores de PHFT em comparação com as outras cidades. Essa diferença nos valores pode ser atribuída às características bioclimáticas da cidade, apesar do uso de isolantes na cobertura das simulações realizadas nessa cidade.

Os dormitórios apresentam PHFT maior do que o das salas, o que indica a necessidade de aprimorar o *design* e implementar estratégias passivas. Além disso, a demanda por melhorias é reforçada pelos valores elevados de Tomáx nas salas, que são os ambientes mais expostos à incidência solar durante os horários de ocupação. Portanto, é imprescindível considerar melhorias nessa área, pois, mesmo com as variações no comportamento dos usuários ao longo do tempo, eles tendem a ocupar os cômodos majoritariamente fora da faixa de temperatura operativa.

Apesar da análise ter enfoque na comparação dos modelos propostos com o modelo de referência, é evidenciado que o modelo de referência também não apresenta valores satisfatórios de PHFT e Tomáx para os dois ambientes analisados, indicando a necessidade de melhorias projetuais.

Tabela 7 – Percentuais de horas de ocupação dentro da faixa de temperatura operativa e temperatura operativa máxima.

Cidades	**Cômodo**	**Fator**	**Referência**	**Lã de rocha**	**Poliestireno moldado**	**Poliestireno extrudado**	**Espuma rígida**	**Atendimento**
Manaus	Sala	**PHFT (%)**	19,29	27,35	26,64	26,44	25,91	Todos atendem
		Tomáx (°C)	36,33	41,91	41,61	41,19	40,77	Nenhum atende
	Dormitório	**PHFT (%)**	85,48	90,79	90,71	90,63	90,55	Todos atendem
		Tomáx (°C)	33,20	33,61	33,53	33,41	33,31	Todos atendem
Paulo Afonso	Sala	**PHFT (%)**	38,97	50,64	50,71	50,82	50,89	Todos atendem
		Tomáx (°C)	37,15	43,95	43,73	43,44	43,15	Nenhum atende
	Dormitório	**PHFT (%)**	96,33	98,66	98,88	99,07	99,21	Todos atendem
		Tomáx (°C)	32,77	31,68	31,60	31,51	31,42	Todos atendem
Cuiabá	Sala	**PHFT (%)**	29,27	46,89	46,92	47,05	47,12	Todos atendem
		Tomáx (°C)	37,56	44,11	43,92	43,66	43,40	Nenhum atende
	Dormitório	**PHFT (%)**	92,00	94,96	95,12	95,12	95,15	Todos atendem
		Tomáx (°C)	33,18	33,36	33,27	33,12	33,00	Todos atendem

A Figura 2 ilustra os valores de PHFT dos ambientes simulados em cada cidade. Nota-se a discrepância entre os valores das salas e dos dormitórios em todos os modelos das cidades, destacando a importância de melhorias, principalmente nas salas, que são os ambientes mais críticos. Além disso, os resultados evidenciam a heterogeneidade dos desempenhos, o que reforça a necessidade de adotar abordagens personalizadas e estratégias específicas para cada ambiente, a fim de alcançar uniformidade no desempenho da residência.

É relevante observar que a faixa de temperatura operativa para as cidades de Cuiabá e Paulo Afonso é de até 28°C, enquanto Manaus possui a faixa de temperatura operativa de até 30°C. Como não há limite inferior estabelecido na norma para essas cidades, e a envoltória dessa residência possui capacidade térmica menor em comparação com o modelo de referência, apesar dos valores de transmitância térmica, as temperaturas noturnas podem não ser adequadas para as pessoas habituadas com a tipologia climática dessas cidades.

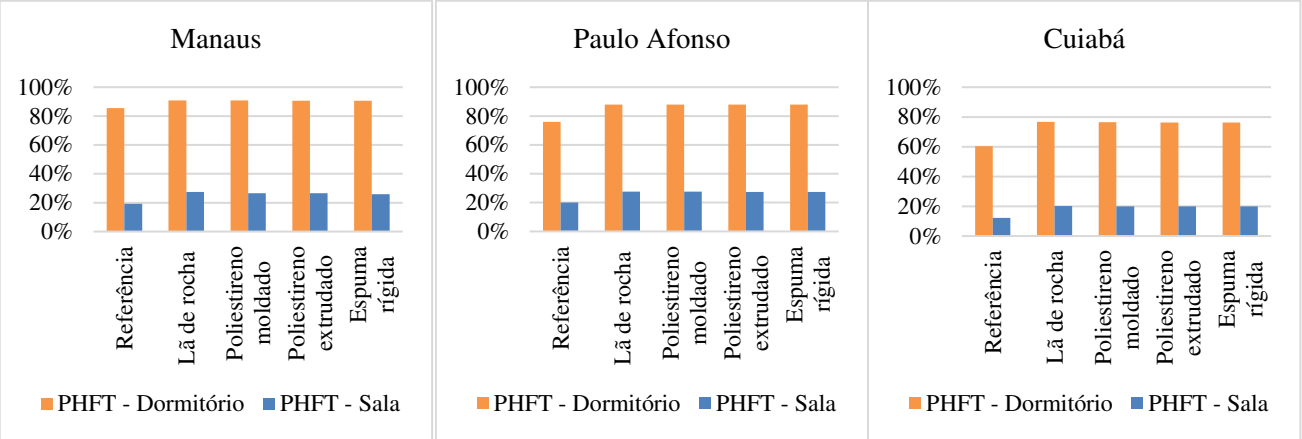


Figura 2 – Percentual de horas de ocupação dentro da faixa de temperatura operativa nos cômodos.

4.2. Horas de ocupação e carga térmica

Apesar de a residência não atender ao nível de desempenho mínimo estabelecido pela norma para todos os seus cômodos, destaca-se que todos os indicadores e critérios requeridos pela norma foram considerados e avaliados. O incremento do percentual de horas de ocupação dentro da faixa de temperatura operativa do modelo real em relação ao modelo de referência (ΔPHFT) e a redução da carga térmica total do modelo real em relação ao modelo de referência (RedCgTT), são os indicadores requeridos para a avaliação dos níveis intermediário e superior. As Equações 3 e 4 descrevem os critérios estabelecidos pela norma para esses níveis.

$$\Delta PHFT \geq \Delta PHFT_{min} \qquad \text{Equação 3}$$

Onde:
ΔPHFT é o incremento do percentual de horas de ocupação dentro da faixa de temperatura operativa nos modelos analisados em relação ao de referência [%];
$\Delta PHFT_{min}$ é o incremento mínimo do percentual de horas de ocupação dentro da faixa de temperatura operativa nos modelos de analisados em relação ao de referência [%].

$$RedCgTT \geq RedCgTT_{min} \qquad \text{Equação 4}$$

Onde:
RedCgTT é a redução da carga térmica total do modelo analisado em relação ao de referência [%];
$RedCgTT_{min}$ é a redução mínima da carga térmica total do modelo analisado em relação ao de referência [%].

Os valores de ΔPHFT e RedCgTT para cada ambiente das cidades analisadas são apresentados na Tabela 8. Embora nenhum dos cômodos atenda aos critérios estabelecidos na norma, observa-se que o ΔPHFT é atendido para os dormitórios em todas as cidades, tanto no nível intermediário quanto no superior. Destaca-se que, em Paulo Afonso e Cuiabá, os dormitórios registram valores de RedCgTT mais altos, enquanto as salas apresentam os maiores valores de ΔPHFT. Em Manaus, os dormitórios obtêm valores inferiores de ΔPHFT, e o modelo Lã de rocha se destaca com um valor mais elevado para o dormitório, além de possuir o maior ΔPHFT para a sala.

Entre os modelos analisados, contata-se que o modelo Espuma rígida apresenta os maiores valores de RedCgTT e ΔPHFT para ambas as áreas em todas as cidades, com exceção de Manaus. Na cidade de Manaus, o modelo Lã de rocha apresenta valores superiores para dois indicadores no dormitório, além de possuir o maior valor de RedCgTT.

Dessa forma, é interessante adotar isolamentos térmicos que utilizam lã de rocha para o dormitório na cidade de Manaus, enquanto combinações com espuma rígida seriam mais apropriadas para os outros ambientes. É importante notar que a residência possuiu estrutura modular com medidas fixas. Portanto, quando se trata de residências que utilizam apenas um módulo, aumentar a espessura da envoltória das paredes e da cobertura internamente reduziria ainda mais a área útil disponível no módulo.

Tabela 8 – Redução da carga térmica total e incremento do percentual de horas de ocupação dentro da faixa de temperatura operativa.

Cidade	Cômodo	Fator	Lã de rocha	Poliestireno moldado	Poliestireno extrudado	Espuma rígida	Intermediário	Superior
Manaus	Sala	ΔPHFT (%)	8,06	7,35	7,15	6,62	33,81	33,81
		RedCgTT (%)	5,25	6,83	9,09	11,29	0,00	55,00
	Dormitório	ΔPHFT (%)	5,31	5,23	5,15	5,07	0,00	0,00
		RedCgTT (%)	23,38	0,70	1,01	1,00	27,00	55,00
Paulo Afonso	Sala	ΔPHFT (%)	11,67	11,74	11,85	11,92	22,40	34,64
		RedCgTT (%)	-91,70	-90,38	-88,55	-86,84	0,00	55,00
	Dormitório	ΔPHFT (%)	2,33	2,55	2,74	2,88	0,00	0,00
		RedCgTT (%)	-70,06	-69,82	-69,49	-69,18	17,00	35,00
Cuiabá	Sala	ΔPHFT (%)	17,63	17,65	17,79	17,85	28,02	28,02
		RedCgTT (%)	-91,01	-89,76	-88,01	-86,35	0,00	55,00
	Dormitório	ΔPHFT (%)	2,96	3,12	3,12	3,15	0,00	0,00
		RedCgTT (%)	-70,71	-70,32	-69,78	-69,27	17,00	35,00

A Figura 3 apresenta as cargas térmicas para cada cômodo. Nota-se que, em todas as cidades, as cargas térmicas dos dormitórios são inferiores às das salas. Além disso, devido ao fato de as cidades analisadas serem de climas quentes, as cargas térmicas totais correspondem às cargas de resfriamento.

A temperatura de *setpoint* exigida pela norma para a ativar o sistema de resfriamento nos ambientes é de 23°C. No entanto, é essencial notar que nas cidades analisadas a zona de conforto é muito similar e pode variar entre aproximadamente 22 e 30°C ao longo do ano (PROJETEEE, 2016). Portanto, essa temperatura de *setpoint* pode não ser adequada para a avaliar de forma precisa os indicadores de desempenho nessas cidades. Além disso, ao considerar as características da residência analisada, será necessário uso significativo de equipamentos de resfriamento, como aparelhos de ar-condicionado, principalmente na sala.

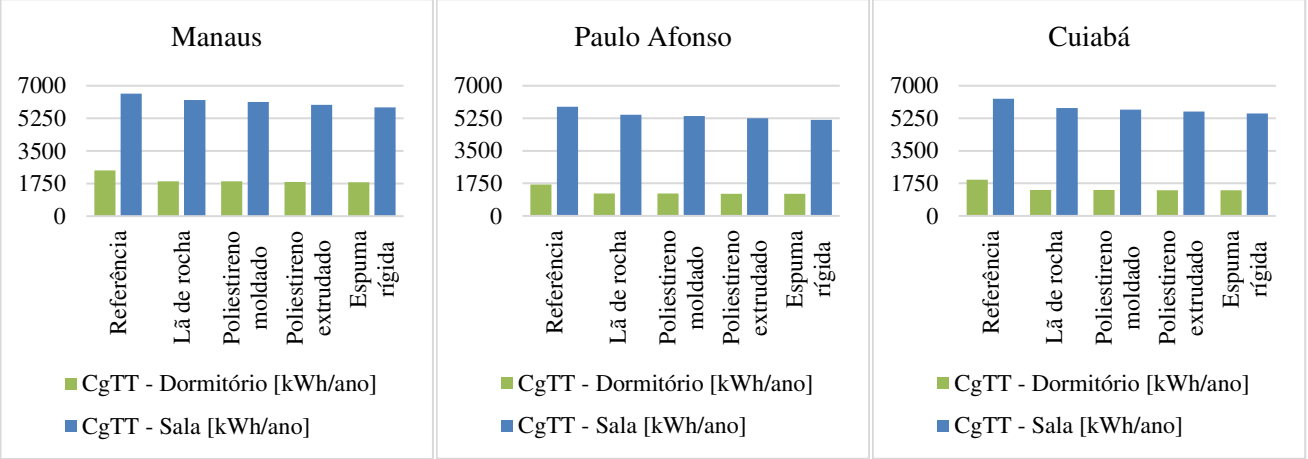


Figura 3 – Carga térmica total nos cômodos.

5. CONCLUSÕES

A pesquisa analisou a interferência de parâmetros da envoltória, referentes ao isolamento das paredes e da configuração da cobertura, no desempenho térmico das áreas de permanência prolongada de uma residência *container* unifamiliar. A edificação foi simulada em três cidades, com classificações Köppen distintas, Manaus, Paulo Afonso e Cuiabá, de acordo com as diretrizes da NBR 15.575/2021.

Os resultados obtidos indicam que nos modelos simulados os ambientes apresentaram comportamento heterogêneo, os dormitórios alcançaram os níveis mínimos de desempenho, porém as salas não atingiram. Em nenhum dos cômodos foi possível atingir os níveis intermediários e superiores estabelecidos pela norma. Isso sugere que os materiais e isolantes utilizados nos modelos não proporcionam melhorias uniformes no desempenho térmico quando comparados ao modelo de referência.

Nenhum dos modelos propostos para as salas atingiu o nível mínimo de desempenho devido ao não cumprimento do critério de temperatura operativa anual máxima, embora tenham atendido ao critério de percentual de horas de ocupação dentro das faixas de temperatura operativa. Consequentemente, os níveis intermediário e superior também não foram alcançados, uma vez que os modelos não atenderam aos critérios exigidos para ambos os níveis.

Porém, apesar dos dormitórios atenderem aos critérios exigidos para o nível mínimo, destacando a diferença de desempenho entre os dois cômodos, estas áreas também não atingiram os níveis intermediário e superior de desempenho. Constatou-se que os dormitórios apresentaram valores superiores de percentual de horas de ocupação dentro da faixa de temperatura operativa em relação às salas porque os horários de ocupação dos dormitórios possuem menor incidência solar, o que contribui para seu melhor desempenho em comparação com as salas.

Os critérios de desempenho térmico da NBR 15.575/2021 indicaram que são necessárias alterações projetuais para a residência nas cidades analisadas. Os modelos avaliados reforçam que as características da habitação são relevantes para o desempenho térmico da edificação, principalmente para a otimização de projetos com esse tipo construtivo nos climas analisados. Entretanto, é necessário reforçar que a norma é generalista e pode não representar com fidelidade o comportamento dos usuários nessas cidades.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.220-3: Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.** Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.575-1: Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

BERTOLINI, Mattia; GUARDIGLI, Luca. Upcycling shipping containers as building components: an environmental impact assessment. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 25, p. 947-963, 2020.

ELRAYIES, Ghada Mohammad. Thermal performance assessment of shipping container architecture in hot and humid climates. **International Journal Advanced Science Engineering Information Technology**, v. 7, n. 4, p. 1114-26, 2017.

FONSECA, L. P. G.; NUNES, V. D. L.; SANTANA, L. O.; CARLO, J. C.; JÚNIOR, K. M. L. C. Otimização multiobjetivo das dimensões dos ambientes de uma residência unifamiliar baseada em simulação energética e estrutural. **Ambiente Construído**, v. 17, p. 267-288, 2017.

HASSAN, A. S.; BOTROS, C.R.; KAMAL, M. N.; MORSI, N. M.; ELFEKY, Y. S. Thermal Performance Assessment for Stacking Shipping Containers as habitable spaces: Cairo Case Study. **IOP Conference Series:** Earth and Environmental Science, 2022.

LABEEE -Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. **Arquivos Climáticos.** 2018. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/pt-br/downloads/arquivos-climaticos.

PROJETEEE - Projetando Edificações Energeticamente Eficientes. **Dados Climáticos**. 2016. Disponível em: http://www.mme.gov.br/projeteee/. Acesso em: 7 de jun. 2023.

SHEN, J.; COPERTARO, B.; ZHANG, X.; KOKE, J.; KAUFMANN, P.; KRAUSE, S. Exploring the potential of climate-adaptive container building design under future climates scenarios in three different climate zones. **Sustainability**, v. 12, n. 1, p. 108, 2020.

UNEP - UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAM, Global Status Report for Buildings and Construction, 2022. Towards a zero-emission, efficient, and resilient buildings and construction sector. Disponível em: <https://www.unep.org/resources/publication/2022-global-status-report-buildings-and-construction>. Acesso em: 18 de mar. de 2023.

ZAFRA, R. G.; MAYO, J. R. M.; VILLAREAL, P. J. M.; PADUA, V. M. N.; CASTILLO, M. H. T.; SUNDO, M. B.; MADLANGBAYN, M. Sl. Structural and thermal performance assessment of shipping container as post-disaster housing in tropical climates. **Civil Engineering Journal**, v. 7, 2021.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem pelos recursos concedidos pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior- Brasil (CAPES) que possibilitaram o desenvolvimento dessa pesquisa.