

CONTAINER: UMA ALTERNATIVA DE CÂMARA CLIMÁTICA CONTAINER: A CLIMATE CHAMBER ALTERNATIVE

Data de aceite: 29/08/2024 | Data de submissão: 28/08/2024

FILIFE, Isabella da Silva, Engenheira de Produção Civil

CEFET-MG, Belo Horizonte, Brasil, E-mail: isabella.filipe@hotmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7550-1075>.

OLIVEIRA, Raquel Diniz, Dr.^a

CEFET-MG, Belo Horizonte, Brasil, E-mail: raqueldiniz@cefetmg.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3712-4499>.

CESAR, Cristina Guimarães, Dr.^a

CEFET-MG, Belo Horizonte, Brasil, E-mail: cristinagc@cefetmg.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8703-6844>.

RESUMO

O reuso de *containers* para fins acadêmicos possibilita recriar o ambiente construído em escala real. Nesse contexto, investigou-se as estratégias aplicáveis para adaptar um *container* como câmara climática em Belo Horizonte - MG, com foco no seu desempenho térmico. Por meio de modelo termoenergético, aplicou-se os parâmetros normativos para adequar o *container* original para o novo uso. Os resultados da simulação indicaram a necessidade de adotar cor clara, isolamento térmico nas paredes (lã de vidro), além de cobertura verde. Caso a adaptação ocorra em etapas, seria possível compatibilizar os custos da aplicação dessas estratégias com a verba institucional.

Palavras-chave: Desempenho térmico; Simulação Termoenergética; Adequação climática; Custos.

ABSTRACT

Containers reused for academic purposes can recreate the built environment on a real scale. Thus, the authors aim at adapting a container as a climate chamber in Belo Horizonte (Brazil) considering its thermal performance. Through a container thermoenergetic model the normative parameters were set to adapt it for this new use. The simulation results pointed out some changes such as light color and walls thermal insulation (glass wool) as well as a green roof. If this adaptation occurs in stages, it would be possible to make these strategies' costs suitable to the institutional budget.

Keywords: Thermal performance; Thermoenergetic simulation; Climatic suitability; Costs.

1. INTRODUÇÃO

A recriação do ambiente construído para pesquisas experimentais se mostra como um obstáculo relevante. Além das questões de custo financeiro, inexistem, muitas vezes, laboratórios e/ou meios no cenário acadêmico que permitam investigar questões como o desempenho térmico de edificações, as condições de conforto dos ocupantes e/ou outros parâmetros relativos ao uso e operação do espaço, em dimensões próximas à escala real (TREVISAN *et al.*, 2020).

Ainda segundo Trevisan *et al.* (2020) o acesso às edificações existentes para acompanhamento em pesquisas não se mostra simples ou viável, em muitos casos. Nesse contexto, a aplicação de câmaras climáticas para pesquisas experimentais, possibilita a investigação de ambientes em escala real, além de possibilitar o controle de variáveis envolvidas no processo de simulação e/ou calibração de modelos termoenergéticos.

Todavia, o elevado custo dos aparatos tecnológicos de uma câmara climática pode inviabilizar o acesso a esse equipamento (TREVISAN *et al.*, 2020), em realidades com recursos financeiros limitados como ocorre, muitas vezes, nas universidades públicas. Desta forma, a adoção de técnicas que possibilite reduzir o seu custo se mostra relevante para a realidade brasileira.

A utilização de construções em *containers* como câmara climática se mostra uma opção para a redução de custos, sendo necessária uma maior investigação sobre o comportamento desses *containers* quando submetidos às variações de parâmetros climáticos (TREVISAN *et al.*, 2020). Essa atenção maior ao comportamento dessas câmaras se deve ao fato de serem constituídas basicamente por chapas de aço, um material com alta condutibilidade térmica (VIANA, 2018).

Conforme Rupp, Vásquez e Lamberts (2015), as câmaras climáticas são ambientes sobre os quais os pesquisadores possuem total controle das variáveis. Complementando, Trevisan (2019) define as câmaras climáticas como volumes fechados que permitem a simulação de ambientes reais e possibilitam o controle de variáveis, tais como: a temperatura interna e a umidade do ar. Ademais, essas câmaras podem ser montadas *in loco* ou pré-fabricadas, expostas às condições externas ou instaladas no interior de edificações.

O uso de câmaras climáticas como ambientes experimentais iniciou-se na década de 1960 na Dinamarca, tendo sido utilizada, posteriormente, em estudos de outras partes do mundo (PISELLO *et al.*, 2021; KIM *et al.*, 2016). No Brasil, existem câmaras climáticas destinadas a experimentos (TREVISAN, 2019). Entretanto, não existem câmaras dedicadas a estudos relacionados a questões térmicas. Nesse contexto, as pesquisas desenvolvidas em Curitiba - PR (TREVISAN *et al.*, 2020; TREVISAN, 2019; RIBEIRO, 2019) representam uma inovação por propor a construção de uma Câmara Bioclimática de Baixo Custo (CBBC) utilizando *container*.

Trevisan (2019) defende ainda a construção de câmaras climáticas com o uso de *container* em dois módulos. Dessa forma, seria possível realizar ensaios simultâneos em condições climáticas similares, por intermédio de pesquisas comparativas entre o módulo de controle (com características inalteradas) e o experimental (modificado). Além disto, trata-se de uma opção sustentável e de replicação internacional da câmara climática.

Os estudos nacionais sobre a avaliação do desempenho térmico de *containers* para adequação de câmaras climáticas ainda se mostram incipientes (TREVISAN *et al.*, 2020; TREVISAN, 2019; RIBEIRO, 2019). No que tange às normativas acerca da adequação climática e construtiva tem-se em vigor apenas a NBR 15.575 (ABNT, 2021), direcionada as habitações em geral ou a NBR15.220 (ABNT, 2022; ABNT, 2005), focada nas habitações de interesse social. Todavia, na ausência de um referencial mais específico diversos estudos aplicaram essas normativas para

definição de estratégias construtivas para adequação de outros tipos construtivos, como *containers* (VIANA, 2018; TREVISAN, 2019; CAMPANHARO; ROSSI, 2018).

O presente estudo insere-se, portanto, neste cenário, com objetivo de investigar, por meio de simulação computacional, as estratégias para adequação do desempenho térmico aplicáveis a um *container* com destinação de uso em pesquisas, por meio da sua transformação em uma câmara climática. De forma complementar, verificou-se a compatibilidade financeira entre o custo e a verba disponível para a aplicação de estratégias necessárias para adequar um *container* existente, proporcionando uma análise econômica dos recursos fundamentais para a sua adequação e transformação em uma câmara climática.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Nesse tópico é apresentada uma revisão da literatura a fim de fundamentar o desenvolvimento do presente trabalho. Para isso, foram abordadas as prescrições normativas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), ABNT NBR 15220/2008 e ABNT NBR 15575/2021. Adicionalmente, apresentou-se um software disponível no mercado para a criação de modelos termoenergéticos, assim como as informações pertinentes sobre construções em *containers* e câmaras bioclimáticas.

Na sequência, evidenciam-se as definições relativas à orçamentação e às composições de serviços e materiais apresentadas pelo Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) para confecção de orçamentos e sua relevância para obras e serviços de engenharia contratados e executados com recursos financeiros da União.

2.1. ABNT NBR 15220

A ABNT NBR 15220-3 (ABNT, 2005) propõe a divisão do território brasileiro em oito zonas, numeradas de 1 a 8, a partir da adaptação da carta bioclimática retratada por Givoni (1992). Desse modo, apresenta-se o zoneamento bioclimático brasileiro, caracterizado pela ABNT NBR 15220-1 (ABNT, 2005) como uma “região geográfica homogênea quanto aos elementos climáticos que interferem nas relações entre ambiente construído e conforto humano” (ABNT, 2005, p.7).

Ainda conforme a ABNT NBR 15220-3 (ABNT, 2005), são apontadas diretrizes construtivas e estratégias de condicionamento térmico passivo para cada uma das oito zonas, a fim de adequar o desempenho térmico das edificações ao clima local. Dentre os parâmetros relativos às diretrizes construtivas tem-se as aberturas para ventilação, o sombreamento das aberturas e o tipo de vedação externa a ser aplicada nas paredes e na cobertura.

2.2. ABNT NBR 15575

Segundo a ABNT NBR 15575-1 (ABNT, 2021), o desempenho térmico das habitações é influenciado pelos componentes de suas paredes e cobertura, pelas áreas envidraçadas e de ventilação, pelas áreas de abertura, além das cargas térmicas internas – pessoas, iluminação e equipamentos – e do clima da cidade, na qual o imóvel será ou está edificado.

Adicionalmente, a norma estabelece que a avaliação do desempenho seja executada nos ambientes de permanência prolongada (APP) da unidade habitacional, descritos como ambientes nos quais acontece a ocupação contínua por um ou mais indivíduos, tais como: sala de estar, dormitórios, sala de TV, entre outros. O desempenho térmico da unidade habitacional (UH) pode ser classificado como mínimo (M), intermediário (I) e superior (S), sendo de caráter obrigatório o atendimento aos requisitos e critérios referentes apenas ao nível mínimo (ABNT, 2021).

Além disso, a norma estabelece que os procedimentos de avaliação do desempenho térmico podem ser: o procedimento simplificado ou o procedimento de simulação computacional. O procedimento simplificado só pode ser utilizado para a obtenção do nível mínimo de desempenho térmico, ao que, para a aquisição dos demais níveis desse desempenho, é necessário implementar o procedimento de simulação computacional.

Na aplicação do procedimento simplificado, ocorre a comparação das características geométricas e das propriedades térmicas dos sistemas construtivos da APP com os valores de referência normativos. Ao passo que o procedimento de simulação computacional compreende a comparação entre os modelos real e de referência desenvolvidos. O modelo real é aquele que “conserva as características geométricas da UH, as propriedades térmicas e as composições dos elementos transparentes, paredes e cobertura” (ABNT, 2021, p.19). O modelo de referência, por sua vez, é definido como aquele que obedece às características descritas no item 11.4.7.2 da ABNT NBR 15575-1 (ABNT, 2021).

Cabe ressaltar nesse momento que os parâmetros a serem comparados para a avaliação do desempenho térmico, adotando o procedimento de simulação computacional, dependem do nível de desempenho térmico que se almeja alcançar. Por exemplo, para o nível mínimo de desempenho término os parâmetros são: o percentual de horas de ocupação da UH dentro da faixa de temperatura operativa (PHFT_{UH}) e as temperaturas operativas anuais máximas e mínimas da UH (Tomáx_{UH} e Tomín_{UH}).

Ademais, no que tange a aplicação do procedimento de simulação computacional, é necessário o uso de softwares para adquirir os parâmetros necessários para análise do desempenho térmico anual da envoltória da edificação, devendo esses softwares atender os critérios determinados no 11.4.1 da ABNT NBR 15575-1 (ABNT, 2021).

Como exemplo de software que atende os pré-requisitos normativos, há o *EnergyPlus*, inclusive indicado pela ABNT NBR 15575-1 em sua versão de 2005 (ABNT, 2005). Esse software é desenvolvido desde a década de 1970 pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, caracterizando-se como de código aberto, livre de licença e multiplataforma (KUBO, 2017).

Para executar a simulação, no *EnergyPlus* deve-se utilizar um arquivo climático da cidade na qual localiza-se a edificação ou de uma região próxima, caso a cidade original não possua arquivo climático.

Além disso, o *software* ainda usa dados relativos às características geométricas, aos componentes construtivos, às cargas térmicas internas, ao padrão de ocupação e aos sistemas de condicionamento da edificação.

Com base nesses elementos, o programa executa a simulação, ofertando diversos dados de saída. Dentre eles, tem-se a média anual da temperatura externa de bulbo seco (TBS_m) e as temperaturas operativas anuais da UH (T_o), as quais são aplicadas na determinação do PHFT_{UH} e das $Tomáx_{UH}$ e $Tomín_{UH}$, e, juntas, permitem a avaliação do nível mínimo de desempenho térmico (VIANA, 2018).

2.3. Construções em *containers*

Segundo Viana (2018), os *containers* foram criados no século XX com a função de transportar cargas, na intenção de dificultar a deterioração e o extravio de mercadorias, possuindo a vida útil de até 90 anos. Entretanto, o uso dos *containers* com a finalidade de transporte se restringe de 10 a 15 anos e seu transporte vazio para retornar ao país de origem da mercadoria é elevado, fazendo com que eles sejam descartados erroneamente por intermédio do abandono nos portos de destino.

Nessa conjuntura, aliou-se a disponibilidade de *containers* a serem reutilizados à necessidade de sanar o déficit habitacional em diversos países para impulsionar o reaproveitamento dos *containers* como habitações (SERRAGLIO, 2019). Isso se justifica devido a sua fácil e rápida instalação, além de poderem ser transportados e modificados após a finalização da construção da edificação (BARBOSA et al., 2017; BUORO; GUEDES, 2015; VENÂNCIO, 2019; VIANA, 2018). Fatores esses que corroboram, também, para a indicação de utilização de *container* para construção de uma câmara bioclimática por Trevisan (2019).

2.4. Orçamento e composições SINAPI e sua relevância

Lopes, Librelotto e Avila (2003) definem que orçar consiste em mensurar os insumos – materiais, mão de obra ou equipamentos – mobilizados para a realização de uma obra ou serviço, obtendo-se também os custos e o tempo requerido para sua finalização.

No processo de orçamentação, o levantamento do quantitativo de insumos pode ser efetuado com base na leitura e análise dos projetos. Por outro lado, o levantamento de custos é determinado a partir da composição de custos unitários, com a qual é possível definir o valor financeiro a ser despendido para a execução de uma unidade de serviço, fundamentando-se em coeficientes de produtividade, consumo e aproveitamento de insumos, além de preços de mercado (TCU, 2014).

A elaboração de novas composições de custos unitários pode ser executada utilizando os conhecimentos adquiridos em obras anteriores (MATTOS, 2006) ou adotando o sistema de referência de custos, o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil - SINAPI (TCU, 2014).

Em complemento, o IBGE estabelece que pode ser definido como objetivo do SINAPI:

[...] a produção de séries mensais de custos e índices para o setor habitacional, e de séries mensais de salários medianos de mão de obra e preços medianos de materiais, máquinas e equipamentos e serviços da construção para os setores de saneamento básico, infraestrutura e habitação (IBGE, 2019, s.p.).

Sendo essas séries mensais produzidas por intermédio de pesquisa realizada pelo IBGE, na qual são averiguados os preços de materiais de construção e equipamentos, além dos salários dos profissionais da construção civil, junto a comércios, indústrias e sindicatos do setor localizados nas capitais brasileiras (TCU, 2014).

Os dados gerados pela pesquisa do IBGE são disponibilizados no site da CAIXA na aba intitulada Referências de preços e custos. Estes dados são subdivididos em estados brasileiros e podem ser apresentados de duas formas: desonerado, cujo valor é obtido desconsiderando-se a incidência de 20% dos custos do INSS para realizar o cálculo dos custos com encargos sociais, ou seja, esse cálculo leva em conta a desoneração da folha de pagamento do setor da construção civil como previsto na Lei 13.161/2015; e não desonerado, cuja a porcentagem de 20% é considerada (CAIXA, 2020).

Ademais, conforme a CAIXA (2020), as informações descritas são divididas ainda em duas subcategorias: sintético, no qual o custo da obra é apresentado por meio do agrupamento dos serviços por itens ou etapas; analítico, na qual é mostrada uma visão mais detalhada dos itens e etapas, expondo-se os custos e quantitativos unitários necessários para executar um serviço e os valores de custo para todos os itens, além do acumulado.

Nesse momento é importante ressaltarmos que o SINAPI é relevante para as obras e os serviços de engenharia contratados e executados com recursos financeiros da União, exceto os serviços e obras de infraestrutura de transporte, devido ao Decreto nº 7.983, de 8 de abril de 2013. Esse decreto estabelece, por intermédio do art. 3º, que o custo global de referência das obras e serviços de engenharia deve ser estimado a partir das composições dos custos unitários apresentadas no projeto exposto no edital de licitação, necessitando esses custos serem menores ou iguais à mediana de seus correspondentes retratados no SINAPI (BRASIL, 2013).

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para o presente estudo, realizou-se quatro etapas metodológicas, a saber: 1) Escolha e caracterização do objeto de estudo; 2) Criação do modelo termoenergético e simulação computacional; 3) Verificação de melhoria dos protótipos modificados; 4) Verificação de compatibilidade financeira. Os programas utilizados na etapa 2, atendem aos requisitos estabelecidos no método de simulação computacional da NBR 15.575 (ABNT, 2021), além de serem amplamente utilizados pela literatura (TREVISAN et al., 2020; VIANA, 2018; TREVISAN, 2019; RIBEIRO, 2019).

3.1. Construções em *containers*

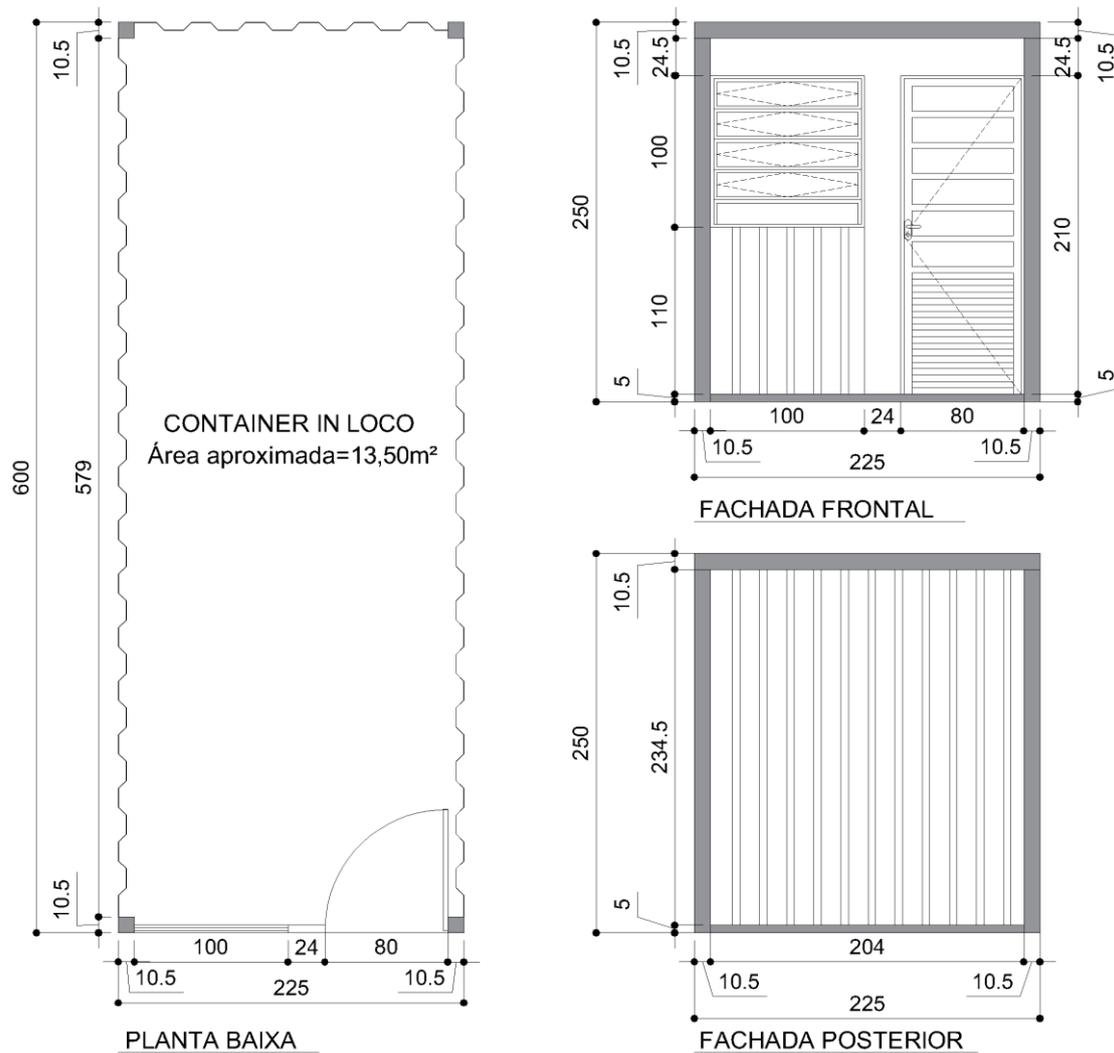
A seleção do estudo de caso se deu pela facilidade de acesso aos dados. Dessa forma, considerou-se um container existente (Figuras 1 e 2), localizado em Belo Horizonte, dentro do Campus Nova Gameleira do CEFET-MG, situado na Zona Bioclimática (ZB) 3 (ABNT, 2005), na latitude -19,85, longitude -43,95, altitude igual a 785m.

Figura 1: *Container* selecionado.



Fonte: Autores.

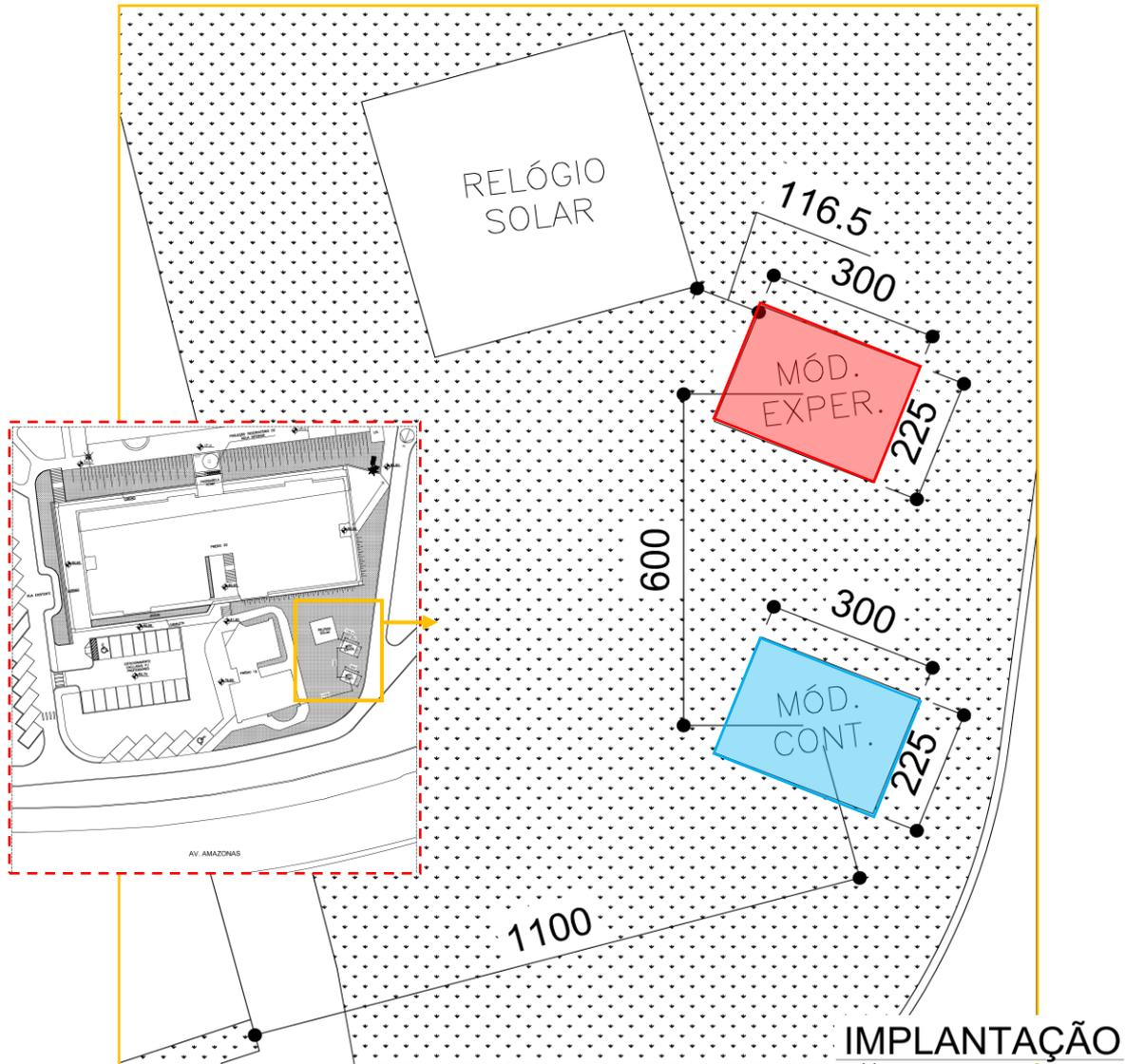
Figura 2: Dimensões do *container* selecionado.



Fonte: Autores.

Conforme se observa na Figura 3, considerou-se, hipoteticamente um novo posicionamento do container, ponderando a facilidade de acesso, a incidência de insolação (após estudo do entorno das 8h00 às 17h00 ao longo dos solstícios de verão e inverno), a direção predominante do vento na região (leste), bem como, a sua divisão em dois módulos (experimental, em vermelho e de controle, em azul), com 300cm de comprimento cada, afim de possibilitar, futuramente, a realização de ensaios simultâneos em pesquisas comparativas, conforme sugerido por Trevisan (2019).

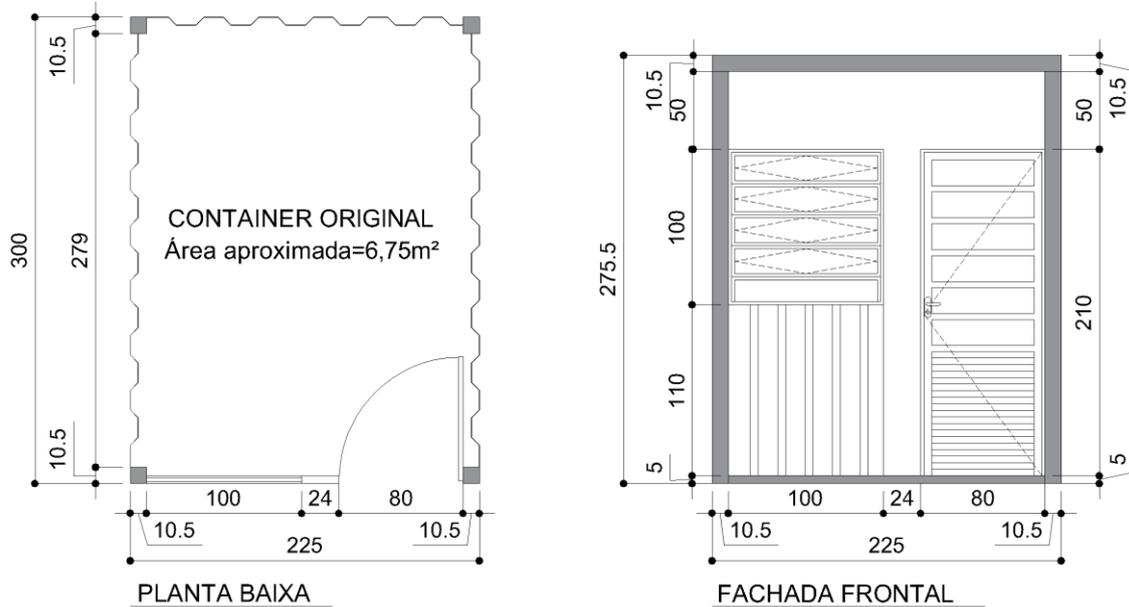
Figura 3: Implantação do módulo experimental e de controle.



Fonte: Autores.

Quanto ao uso do espaço como ambiente laboratorial e, em função do tempo de ocupação, considerou-se os parâmetros municipais mínimos definidos para escritórios (BELO HORIZONTE, 2009). Desta forma, foi necessário considerar um pé-direito maior passando as dimensões do container para 225x300x275,5cm (largura x comprimento x altura), e área total de 6,75m² (Figuras 4), de modo a atender o pé-direito mínimo de 260cm. As suas demais características foram preservadas.

Figura 4: Dimensões do *container* após modificação do pé-direito.



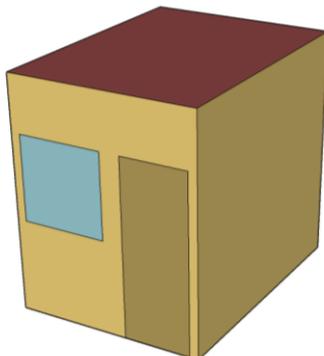
Fonte: Autores.

3.2. Criação do modelo termoenergético e simulação

A modelagem termoenergética do container foi elaborada com auxílio do software *SketchUp Make 2016*, em conjunto com a extensão *Euclid 0.9.3*. Para o modelo real, considerou-se as características construtivas do container original, enquanto para o modelo de referência, considerou-se as especificações estabelecidas na NBR 15575-1 (ABNT, 2021), para a localidade em questão. Como dados de entrada, considerou-se o arquivo climático de Belo Horizonte-Pampulha do tipo *Solar and Wind Energy Resource Assessment - SWERA*, os materiais construtivos referentes ao objeto de estudo, além das rotinas de uso e ocupação, as cargas térmicas referentes aos ocupantes, equipamentos e iluminação previstas na norma (ABNT, 2021).

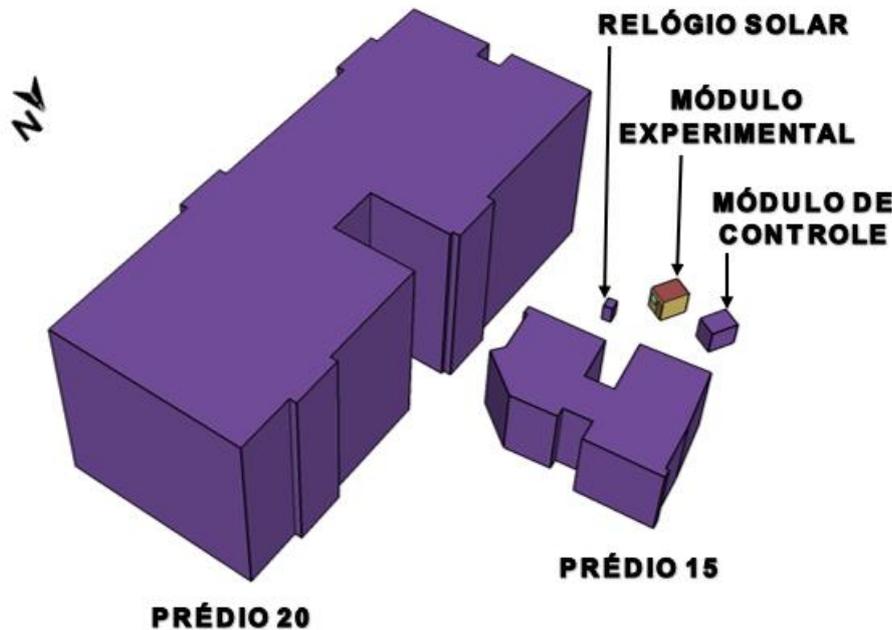
Nas Figuras 5 e 6 são mostradas, respectivamente, a geometria do *container* original, dos seus módulos divididos juntamente com o seu entorno imediato, com as diferenças de nível acrescidas na altura real dos prédios 15 e 20 e relógio solar existente.

Figura 5: *Container* original.



Fonte: Autores.

Figura 6: Geometria tridimensional com o entorno e os módulos de *container*.



Fonte: Autores.

Para a simulação computacional, utilizou-se o software *EnergyPlus*, em sua versão 8.7.0, bem como o método previsto em NBR 15575-1 (2021) para obter a média anual da temperatura externa de bulbo seco (TBS_m) e as temperaturas operativas anuais da área de permanência prolongada (TO_{APP}), considerando o modelo real e de referência, naturalmente ventilado. Com base nesses dados, determinou-se o intervalo a ser considerado para o clima do local do estudo e, subsequentemente, a faixa de temperatura operativa a ser adotada. Isto possibilitou calcular o percentual de horas de ocupação do APP dentro da faixa de temperatura operativa ($PHFT_{APP}$) e as temperaturas operativas anuais máximas e mínimas da UH ($Tomáx_{UH}$ e $Tomín_{UH}$), conforme estabelecido na NBR 15575-1 (2021). Desta forma, verificou-se o atendimento aos critérios normativos de desempenho térmico nesta norma do container original.

3.3. Verificação de melhorias dos protótipos modificados

Na hipótese do não atendimento dos limites da NBR 15.575 (2021), considerou-se modificações no modelo. Essa etapa constitui-se, portanto, da modelagem termoenergética e simulação de protótipos virtuais desenvolvidos a partir das estratégias recomendadas pela NBR 15.220-3 (2005) para a zona bioclimática do estudo (ZB3), com a finalidade de determinar aquela (s) mais efetiva (s) para melhorar o desempenho térmico do container.

Cumprir destacar que o condicionamento térmico passivo não foi considerado, uma vez que a implantação idealizada já contemplaria tal estratégia. Já as aberturas de ventilação foram mantidas inalteradas uma vez que Viana (2018) observou que tal modificação não seria significativa para promover diminuição da temperatura interna em um container e, por consequência, o aperfeiçoamento do desempenho térmico. Assim, para o estudo das alternativas de adequação do desempenho térmico do container para obtenção do nível de desempenho térmico mínimo, propõem-se a criação e simulação computacional de protótipos virtuais (PVs) que

levem em conta: a cor das fachadas (I: clara $\alpha = 0,3$; II: média $\alpha = 0,5$ ou III: escura $\alpha = 0,7$), inclusão de uma placa de gesso acartonado de 1,25cm na vedação vertical mais um isolante (IV: 3cm de lã de rocha; V: 3cm de lã de vidro; VI: 1,5cm de poliuretano expandido (EPS) ou VII: 3cm de câmara de ar) e inclusão de componente extra sobre a cobertura original do container em aço (VIII: telha sanduíche com EPS de 5,1cm ou IX: telhado verde: 5cm de grama, 15cm de terra argilosa, 3cm de argila expandida, 0,5cm de membrana betuminosa e 0,5cm de betume asfáltico), e X: agrupamento das opções com maior PHFT_{UH} em um único protótipo, conforme alternativas construtivas descritas em Viana (2018) e NBR 15.220 (2005) e propriedades térmicas estabelecidas em NBR 15.220 (2005).

Na sequência, verificou-se o atendimento ou não do desempenho térmico dos protótipos virtuais dos containers simulados contendo as estratégias investigadas, seguindo o mesmo procedimento descrito anterior. Nesse momento, os modelos que não atenderem ao desempenho térmico ao menos mínimo serão descartados, ao passo que os modelos que atenderem esse desempenho serão submetidos aos processos subsequentes. É importante ressaltar que, no cenário de nenhuma das simulações atenderem ao desempenho, a pesquisa é finalizada, concluindo que não é possível adequar o container original.

Assim, os resultados gerados pela simulação do *container* original e dos protótipos virtuais dos *containers* simulados contendo as estratégias investigadas são analisados com objetivo de determinar a estratégia isolada ou o conjunto de estratégias a serem empregada(s) para promover a melhoria desejada.

3.4. Verificação de compatibilidade financeira

Esta etapa que consiste no levantamento dos insumos necessários para a implementação da etapa anterior e, a consequente orçamentação via composições de serviços e materiais do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil – SINAPI para o mês de setembro de 2022 (IBGE, 2022), de acordo com a composição não desonerada, tendo por referência a estratégia de menor custo de implementação definida.

Por fim, efetuou-se o estudo da compatibilidade financeira entre o custo da adaptação do container e a verba institucional disponível para tal. Para isso, levou-se em conta os recursos de custeio para apoiar o desenvolvimento das atividades acadêmicas e científicas de programas de pós-graduação fornecidos pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES via Programa de Apoio à Pós-Graduação - PROAP (CEFET-MG, 2022), como a verba disponível para a realização da adaptação do container.

Esse estudo de compatibilidade financeira foi realizado a fim de que o produto proposto no presente trabalho possa ser explorado, futuramente, em modelo real, servindo para pesquisas acadêmicas dos diversos cursos do CEFET-MG, em diversas esferas do conhecimento (técnico, graduação e pós-graduação).

4. APLICAÇÕES E/OU RESULTADOS

A seguir são apresentados os resultados do estudo referentes às simulações computacionais dos protótipos virtuais desenvolvidos e o orçamento dos custos da

adoção de estratégias para adequação do desempenho térmico aplicáveis ao *container* para sua transformação em uma câmara climática, com o uso do SINAPI.

4.1. Verificação do atendimento normativo e possíveis melhorias

Com base nos valores de saída da simulação para os critérios normativos NBR 15.575 (2021), verificou-se que o *container*, em sua composição construtiva original, não atendeu ao nível de desempenho térmico mínimo (Tabela 1).

Tabela 1: Análise do desempenho térmico do *container* original.

Parâmetro	Critério	Modelo de referência	Modelo real	Valores do critério	Atendimento ao nível mínimo do modelo real
TBSm: 22,6°C / Faixa de TO: 18,0°C < T _{OAPP} < 26,0°C	PHFT _{UH} (%)	40,4	32,0	36,4	Não
	Tomáx _{UH} (°C)	37,2	38,0	38,2	Sim
	Tomin _{UH} (°C)	13,0	9,8	12,0	Não

Fonte: Autores.

Deste modo, após proceder com alterações de forma isolada, seguindo as recomendações aplicáveis indicadas por Viana (2018) e NBR 15.575 (2021), verificou-se que a alteração apenas da cor da fachada, em suas três opções (clara, média ou escura) não foi suficiente para garantir o atendimento do desempenho térmico mínimo previsto na NBR 15.575 (2021), conforme se observa na Tabela 2. Já o isolamento da vedação vertical (inclusão de placa de gesso + lã de rocha / vidro / EPS ou câmara de ar) em suas quatro opções, bem como as duas opções de alteração da cobertura (telha sanduíche ou telhado verde sob a cobertura original) possibilitaram alcançar apenas o critério de Tomáx_{UH}, que já havia sido atendido na condição original, conforme apresentado na Tabela 1. O atendimento do desempenho mínimo foi possível somente com a combinação das estratégias de I a IX, que possibilitaram os melhores resultados, incluindo as estratégias, I (cor clara), IV (lã de rocha) ou V (lã de vidro) e IX (telhado verde). Ambas as opções (IV e V), por terem propriedades térmicas similares propiciaram os mesmos resultados sendo indiferente, neste caso, a escolha de uma em detrimento a outra. É importante destacar que os parâmetros normativos atendidos foram destacados em verde na Tabela 2.

Tabela 2: Análise do desempenho térmico do *container* original Estratégias de I a IX.

Critério	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
PHFT _{UH} (%)	19,3	14,2	11,3	35,4	35,4	35,1	34,1	32,1	36,3	37,8
Tomáx _{UH} (°C)	40,3	41,8	43,0	36,7	36,7	36,8	37,0	37,7	37,2	36,1
Tomin _{UH} (°C)	10,3	10,1	9,9	10,7	10,7	10,6	10,5	10,4	11,0	12,8

Fonte: Autores.

4.2. Verificação dos custos para transformar o *container*

O atendimento do desempenho térmico mínimo foi alcançado apenas com a estratégia denominada por X, que abrange a aplicação conjunta das seguintes alterações: adoção de cor clara nas fachadas; isolamento térmico das paredes (lã de rocha ou de vidro); inclusão de telhado verde sob a cobertura existente. Desse modo, considerou-se para o orçamento somente esse conjunto de alternativas que atenderiam os requisitos mínimos normativos (ABNT, 2021).

No SINAPI verificou-se que existe apenas dados sobre lã de vidro, tornando necessário desconsiderar a aplicação de lã de rocha devido a inviabilidade do seu orçamento por meio dessa plataforma. Ademais, para contabilizar todos os custos para transformar o container em uma câmara climática, necessita-se orçar as despesas para dividi-lo em dois módulos (de controle e experimental) e, também, adequar o seu pé-direito à legislação vigente municipal (BELO HORIZONTE, 2009). Na Tabela 3 é apresentado o orçamento considerando os dados do mês de setembro de 2022, com uso da composição não desonerada do SINAPI (IBGE, 2022).

Tabela 3: Análise do desempenho térmico do *container* original.

Código da composição / insumo	Descrição do item	Unid.	Preço Unitário(R \$)	QTD	Preço total (R\$)
100950	Guidauto hidráulico	H	280,03	8,00	2.240,24
99855	Serralheiro com encargos complementares	H	24,98	24,65	615,71
99855	Auxiliar de Serralheiro com encargos complementares	H	20,04	20,23	405,37
100766	Pilar metálico incluso, mão de obra, transporte, içamento, fornecimento e instalação	Kg	14,94	1.042,80	15.579,43
11026	Chapa de aço galvanizada GSG 14, E=1,95mm	Kg	14,06	38,43	540,29
98746	Solda de topo em chapa de aço chanfrado, E=1/4"	M	72,37	19,32	1.398,19
94806	Porta em aço de abrir p/ vidro sem guarnição 87x210cm, incluso vidros	UN	647,33	1,00	647,33
94559	Janela de aço tipo basculante p/ vidros, c/ batente, ferragens e pintura anticorrosiva, incluso vidros, acabamento, alizar e contramarco	m ²	806,00	1,00	806,00
102161	Instalação de vidro liso incolor, E=3mm, em esquadria de alumínio	m ²	258,16	1,39	358,69
39744	Painel de lã de vidro sem revestimento PSI 40, E=25mm, de 1200x600mm	m ²	23,96	22,44	537,57

Código da composição / insumo	Descrição do item	Unid.	Preço Unitário(R \$)	QTD	Preço total (R\$)
96370	Servente com encargos complementares	H	18,02	2,46	44,39
96371	Parede c/ placas de gesso acartonado (<i>drywall</i>) p/ uso interno	m ²	76,86	22,44	1.724,43
98557	Impermeabilização de superfície c/ emulsão asfáltica, 2 demãos	m ²	41,87	6,75	282,62
34549	Argila expandida granulometria 2215	m ³	1.119,88	0,20	226,78
7253	Terra Vegetal (granel)	m ³	222,85	1,01	225,64
103946	Grama esmeralda ou São Carlos ou Curitiba em placas, sem plantio	m ²	12,75	6,75	86,06
98576	Impermeabilização c/ encargos complementares	H	25,14	0,18	4,58
103946	Servente c/ encargos complementares	H	18,02	1,06	19,02
103946	Jardineiro c/ encargos complementares	H	22,22	0,26	5,86
100753	Pintura c/ tinta acrílica de acabamento pulverizado sobre superfícies metálicas, 2 demãos	m ²	20,54	26,25	539,12
Total (R\$):					26.287,32

Fonte: Adaptado de SINAPI (2022). Autores.

5. ANÁLISES DOS RESULTADOS OU DISCUSSÕES

De posse dos resultados oriundos da efetuação dos procedimentos metodológicos propostos no presente estudo, nessa seção apresentamos as análises dos resultados referentes a adoção de estratégias de condicionamento passivo para melhoria do desempenho térmico do container e a compatibilidade financeira entre os custos para transformar o *container* em uma câmara climática e a verba institucional disponível para pesquisas.

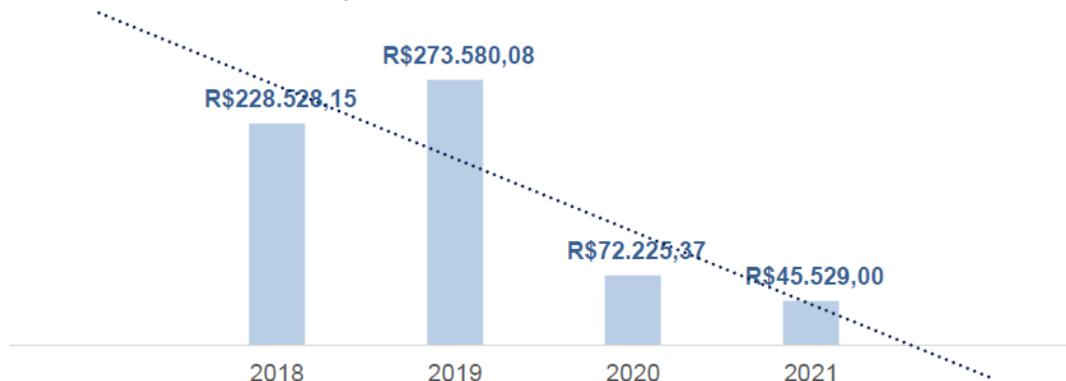
5.1. A adoção de estratégias de condicionamento passivo

A alternativa combinada de estratégias para adequação do container original e atendimento do nível de desempenho térmico mínimo se mostrou, portanto, factível. Nesse contexto, os resultados obtidos no presente trabalho se mostraram coerentes com estudos similares de Trevisan *et al.* (2020), Trevisan (2019) e Ribeiro (2019), tendo em vista a comprovação do potencial da adoção de estratégias de condicionamento passivo na aplicação de ventilação natural e na redução de temperaturas do container por Viana (2018).

5.2. A compatibilidade financeira

Com base no orçamento elaborado pelos autores, considerando a disponibilidade de verba institucional que poderia ser destinada a transformação do container em uma câmara climática, apresentam-se os dados dos relatórios de gestão dos últimos quatro anos exercício, 2018 a 2021, referente aos valores recebidos para o Programa de Apoio à Pós-Graduação - PROAP (CEFET-MG, 2022). Assim, conforme pode ser observado no Gráfico 1, nota-se uma redução expressiva nos valores recebidos nos últimos anos. Ainda assim, ao considerarmos o menor valor já recebido (R\$ 45.529,00), podemos observar que o valor orçado para transformar o container em uma câmara climática (R\$ 26.287,32) corresponderia a cerca de 58% do último recebimento. Portanto, diante da dificuldade em se aprovar de imediato esse montante expressivo para adequação do container, sugere-se dividir a execução da sua transformação em etapas de modo a viabilizar tal modificação, sem prejudicar o auxílio para compra de insumo de pesquisas em andamento e/ou auxílio para participação em eventos.

Gráfico 1: Valores recebidos para o PROAP 2018-2021.



Fonte: Adaptado de CEFET-MG (2022). Autores.

6. CONCLUSÃO

A avaliação de *container* existente para transformação em dois módulos (de controle e experimental a ser utilizado como câmara climática), por meio de simulação indicou como resultado o não atendimento aos critérios mínimos estabelecidos pela NBR 15.575-1 (2021). Desse modo, constatou-se ser necessário adotar estratégias para adequar o seu desempenho térmico. Assim, aplicando-se as estratégias de condicionamento passivo indicadas pela NBR 15.220-3 (2005) para a ZB3, identificou-se como alternativas: alterar a cor das fachadas, adotar diferentes isolamentos térmicos nas paredes e modificar a cobertura. Contudo, a aplicação destas estratégias de forma isolada se mostrou ineficiente para propiciar o atendimento aos critérios de mínimos normativos.

Por outro lado, a adoção conjunta das estratégias que propiciaram maior PHFT_{UH} (cor clara nas fachadas; isolamento térmico da vedação vertical com lã de rocha ou de vidro e inclusão de telhado verde sobre a cobertura existente), possibilitou o atendimento das condições mínimas.

Quanto ao custo, a adoção desse conjunto de estratégias de transformação do container em câmara climática, se mostrou exequível, considerando a limitação da verba de pesquisa do PROAP, desde que a execução seja dividida em etapas. O custo dessa transformação (R\$ 26.287,32) corresponde a cerca de 58% do menor valor já recebido nos últimos quatro anos exercício, 2018 a 2021, equivalente a (R\$ 45.529,00). Espera-se que este trabalho possa contribuir para ampliar as possibilidades de experimentos e pesquisas *in situ*, direcionadas ao ambiente construído.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15220-2:** Desempenho térmico de edificações. Parte 2 – Componentes e elementos construtivos das edificações — Resistência e transmitância térmica - Métodos de cálculo (ISO 6946:2017 MOD). Rio de Janeiro, 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15220-3:** Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para Habitações de Interesse Social. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15575 - 1/Emenda 1:2021.** Edificações habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15575-1 -** Edifícios habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
- BARBOSA, G. de O.; GALDINO, L. R. N.; SOUZA, L. B. de; RODRIGUES, L. M. S.; ARAÚJO, M. E. C.; GONZAGA, G. B. M. Container na construção civil: Rapidez, eficiência e sustentabilidade na execução da obra. **Ciências exatas e tecnológicas**, Alagoas, v. 4, n. 2, p. 101-110, nov. 2017.
- BRASIL. **Decreto nº 7.983, de 8 de abril de 2013.** Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2013/decreto/d7983.htm. Acesso em: 03 maio 2022.
- BRASIL. Tribunal de Contas da União (TCU). **Orientações para elaboração de planilhas orçamentárias de obras públicas** / Tribunal de Contas da União, Coordenação-Geral de Controle Externo da Área de Infraestrutura e da Região Sudeste. – Brasília: TCU, 2014. 145 p.: il.
- BUORO, R.; GUEDES, A. B. Reuso de containers marítimos na construção civil. **Revista de Iniciação Científica, Tecnológica e Artística**, São Paulo, v.5, ago. 2015.
- CAIXA. **SINAPI: Metodologias e Conceitos: Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil** / Caixa Econômica Federal. – 8ª Ed. – Brasília: CAIXA, 2020.

CAMPANHARO, M.; ROSSI, F. Análise do conforto térmico de contêiner em Curitiba/PR. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO 17, 2018, Foz do Iguaçu. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2018, p. 603-612.

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS - CEFET MG. **Relatórios de Gestão**. Disponível: <https://www.cefetmg.br/instituicao/relatorios-de-gestao/>. Acesso: 10 nov. 2022.

GIVONI, B. Comfort, climate analysis and building design guidelines. **Energy and Buildings**, v. 18, p. 11-23, 1992. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0378777889290047K>. Acesso em: 10 jul. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **SINAPI** - Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil. Disponível: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/precos-e-custos/9270-sistema-nacional-de-pesquisa-de-custos-e-indices-da-construcao-civil.html?=&t=o-que-e>. Acesso: 07 set. 2022.

KIM, J., DE DEAR, R., PPARKINSON, T., CANDIDO, C., COOPER, P., MA, Z., SAMAN, W. Field study of air conditioning and thermal comfort in residential buildings. In: 9th Windsor Conference: Making Comfort Relevant. **Proceedings...** Windsor: Windsor Conference, 2016.

LOPES, O. C.; LIBRELOTTO, L. I.; AVILA, A. V. **Orçamento de obras**. Florianópolis: Unisul, 2003.

PISELLO, A. L.; PIGLIAUTILE, I.; ANDARGIE, M.; BERGER, C. Test rooms to study human comfort in buildings: A review of controlled experiments and facilities. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 149, 2021, p. 111359. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111359>.

PREFEITURA DE BELO HORIZONTE - PBH. **Lei nº 9725, de 15 de julho de 2009**. Disponível: <https://leismunicipais.com.br/codigo-de-obras-belo-horizonte-mg>. Acesso: 11 set. 2022.

RIBEIRO, D. A. **Recomendações para a replicação de câmara bioclimática de baixo custo nas zonas bioclimáticas brasileiras** (Dissertação). 2019. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

RUPP, R. F.; VÁSQUEZ, N. G.; LAMBERTS, R. A review of human thermal comfort in the built environment. **Energy and Buildings**, v. 105, 2015, p. 178-205. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.07.047>.

SERRAGLIO, A. **Análise do custo do ciclo de vida da casa-contêiner e da habitação convencional com foco na utilizadas em moradias de interesse social**. Orientador: Adalberto Pandolfo. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS, 2019.

TREVISAN, L. Y. I. **Concepção, construção e verificação da aplicabilidade de uma câmara bioclimática de baixo custo em estudos de conforto ambiental** (Tese). 2019. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

TREVISAN, L. Y. I.; SHIBATA, R.; CELLIGOI, G.; RIBEIRO, R. S.; AMARILLA, R. S. D. KRÜGER, E. L. Avaliação Pós-Ocupação de uma Câmara Bioclimática de Baixo Custo: a percepção térmica e acústica no diagnóstico de um ambiente construído. **Ambiente Construído**, v. 20, n. 2, p. 285-303, abr./jun. 2020. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212020000200400>.

VENÂNCIO, C. **Diretrizes para utilização de contêineres marítimos em edifícios de andares múltiplos na construção civil**. Orientadores: Prof. Dr. Flávio Teixeira de Souza e Prof. Dr. Arlene Maria Cunha Sarmanho. 2019. Dissertação (Mestrado Profissional em Construção Metálica) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, 2019.

VIANA, F. S. **Análise de desempenho térmico em módulo de contêiner marítimo** (Dissertação). 2018. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018.