ANÁLISE DE OTIMIZAÇÃO MULTIOBJETIVO DA ENVOLTÓRIA DE UM CONTÊINER ADAPTADO PARA USO MILITAR EM CAMPO GRANDE-MS

Edmilson Magalhães de Deus (1); Arthur Santos Silva (2)
(1) Aluno de mestrado, Engenheiro de Fortificação e Construção, edmilson.deus@gmail.com, Exército Brasileiro, (67) 99219-8495
(2) Professor Doutor, Engenheiro Civil, arthur.silva@ufms.br, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, (67) 3345-7477

RESUMO
O uso de contêineres adaptados para habitação vem crescendo no Brasil (onde podemos incluir o Exército Brasileiro) e no mundo, tendo em vista a inviabilidade de seu descarte ou da logística reversa. O objetivo deste artigo é realizar uma análise de otimização da envoltória de um contêiner adaptado em relação ao conforto térmico e eficiência energética (geração e consumo de energia para climatização) por meio de simulação computacional. Para isso, foi modelado um módulo misto de alojamento e escritório para simulação computacional com o programa EnergyPlus, usando dados climáticos de Campo Grande-MS e configurações da Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C). Foi feita a parametrização de variáveis da envoltória utilizando o JEPlus e utilizado o non-denominated sorting genetic algorithm - NSGA-II para a otimização do desempenho no JEPlus+EA. Como resultado, foi obtida a fronteira de Pareto com combinações das variáveis para atender aos objetivos propostos. Para minimizar o saldo de energia, as soluções ótimas combinaram absortância solar baixa, isolamento térmico de 2,5cm nas paredes, vidro comum de 6mm, menor área de abertura e inclinação de 20° das placas solares fotovoltaicas. As ferramentas utilizadas demonstraram que a combinação de algumas variáveis permite melhorar o conforto e o consumo de energia no módulo de contêiner, como por exemplo, alterando a absortância solar da parede externa e a orientação solar.
Palavras-chave: simulação computacional, otimização multiobjetivo, contêiner, *JEPlus*.

ABSTRACT
The use of adapted containers for housing has been growing in Brazil (where we can include the Brazilian Army) and in the world, given the impossibility of their disposal or reverse logistics. This article aims to perform an optimization analysis of the envelope of an adapted container concerning thermal comfort and energy efficiency (generation and consumption of energy for air conditioning) through computer simulation. For this, a mixed module of accommodation and office was modeled for computer simulation with the EnergyPlus software, using weather data from Campo Grande-MS and settings from the INMETRO Normative Instruction for the Classification of Energy Efficiency of Commercial, Service and Public Buildings (INI-C). The parametrization of envelope variables was performed using JEPlus and the non-denominated sorting genetic algorithm - NSGA-II was used to optimize the performance in JEPlus+EA. As a result, the Pareto frontier was obtained with combinations of variables to meet the proposed objectives. To minimize the energy balance, the optimal solutions combined low solar absorptance, 2.5cm thermal insulation on the walls, 6mm simple glass, smaller window area and 20° inclination of the photovoltaic solar panels. The tools used showed that the combination of some variables improves comfort and energy consumption in the container module, such as changing the solar absorptance of the external wall and the solar orientation.
Keywords: building simulation, multi-objective optimization, container, JEPlus

1. INTRODUÇÃO

No Brasil e no mundo tem crescido o uso de contêineres como edificações, principalmente com a finalidade de alojamento e escritório. O Exército Brasileiro, em suas missões subsidiárias (BRASIL, 1999), tem utilizado este tipo de equipamento como instalações provisórias. Santos (2017) apresentou o uso de contêineres para um hospital de Campanha, que pode ser utilizado tanto em situações de guerra quanto em apoio em catástrofes, onde, por exemplo, um contêiner foi adaptado para ser um consultório odontológico ou para ser um laboratório de análises clínicas.

Com relação à aquisição de bens ou serviços relacionados aos contêineres, a legislação brasileira apresentou a possibilidade de se exigir material reciclado (BRASIL, 2010). Sobre esta possibilidade, Pires (2015) relatou que foram movimentados 8,9 milhões de unidades de transporte de contêiner (TEU - *Twenty Foot Equivalent Unit*) no Brasil em 2014. Viana (2019) relatou que o custo de transporte destes equipamentos, em sua maioria de origem oriental, torna inviável a logística reversa. Dara et al. (2019) destacaram que os módulos possuem boas resistências estrutural e contra intempéries. Estes autores mostraram também o alto valor energético necessário para reciclar o metal, em comparação com a quantidade de energia para adequá-los para a função de habitação. Vijayalaxmi (2010, apud ISLAM et al., 2016) relatam que os contêineres não se mostraram inferiores, em termos de temperatura interna, às construções convencionais para um clima tropical quente e úmido em dias quentes.

Atmaca et al. (2016) e McConnel et al. (2019), que analisaram alguns aspectos principais sobre a avaliação do ciclo de vida do contêiner, constataram que é na fase de uso e operação que se deve haver um maior esforço na economia de energia. Os autores afirmaram também que este tipo de equipamento é bastante eficiente para pronto emprego em caso de catástrofes. Em contrapartida, Viana (2019) relatou a baixa quantidade de publicações para especificação técnica de revestimento térmico para adequação do uso de contêiner para habitações em climas quentes. Tal problema pode ser verificado em uma breve busca por editais de licitação para aquisição ou locação destes equipamentos, por órgãos públicos no Brasil.

Para aumentar a eficiência energética, Wang et al. (2018) mostram que os contêineres devem possuir um material mais reflexivo à radiação solar ou que utilizem as superfícies para gerar energia fotovoltaica, caso eles sejam utilizados como edificações. Os autores mostraram a possibilidade da utilização de células fotovoltaicas e meios de armazenamento (baterias), podendo torná-los edifícios de energia zero.

Em 24 de fevereiro de 2021, o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) publicou a Portaria nº 42 que aprova a nova Instrução Normativa do Inmetro para Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C), que aperfeiçoa os Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C), especificando os critérios e os métodos para classificação de edificações comerciais, de serviços e públicas quanto à sua eficiência energética (BRASIL, 2021). Contudo, como um contêiner não é uma das tipologias específicas de edificações apresentada nesta instrução, deverão ser feitas adaptações quando de sua avaliação tendo em vista que os contêineres, na maioria das vezes, são um ambiente único e não edificações completas.

Além da eficiência energética, sabe-se da importância de se garantir temperaturas operativas dentro da zona de conforto térmico dos usuários. De acordo com Orosa et al. (2011), esta condição depende principalmente da temperatura externa e da umidade do ar, além do nível de irradiação solar, o que variará para cada localidade e momento do dia. Tal cuidado visa a prevenir problemas de saúde (ORMANDY et al 2012), garantir segurança no trabalho (BRASIL, 2019) e melhorar o desempenho funcional (AWANG et al 2018).

Chen *et al.* (2016) relataram que para atingir uma meta sustentável em projetos de construção de edifícios, os projetistas podem considerar a exploração de recursos de projeto passivo, como o das propriedades termofísicas do envelope, geometria do edifício e infiltração e vedação, que comprovadamente afetam o desempenho do edifício em muitos estudos. Fonseca et al. (2017) mencionam que a simulação termoenergética é um meio promissor para o projeto de edificações com melhor conforto térmico, menor consumo de energia e menor impacto ambiental, sendo uma ferramenta que permite a integração de múltiplos objetivos para se alcançar o desempenho.

Neste contexto, Deb (2002) menciona que a presença de múltiplos objetivos em um problema de otimização, em princípio, dá origem a um conjunto de soluções ótimas (conhecidas como soluções de Pareto), ao invés de uma única solução. Na ausência de qualquer informação adicional, uma dessas soluções ótimas de Pareto não pode ser considerada melhor do que a outra. Brownlee et al. (2011, apud EVINS, 2013), comparando o desempenho de cinco algoritmos de multi-alvo (de IBEA, MOCell, NSGA-II, SPEA2 e PAES), relataram que o algoritmo genético de classificação não denominado (*non-denominated sorting genetic algorithm* - NSGA-II) apresentou o melhor desempenho para análise de edificações. Chen et al. (2016) explicitaram que este algoritmo é altamente confiável para obter a fronteira de Pareto. Linczuk et al.

(2020) apontaram que ele é mais adequado para resolver problemas de otimização multiobjetivo, que são comuns no projeto de edificações.

Desta forma, a fim de preencher uma lacuna presente nas especificações técnicas para aquisição de contêineres por órgãos públicos, este trabalho apresenta uma investigação de algumas modificações de envoltória com a finalidade de melhorar a eficiência energética e o conforto térmico de ocupantes em contêineres, para a cidade de Campo Grande - MS, utilizando o programa *EnergyPlus* e procedimentos de otimização.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é otimizar a envoltória de contêineres adaptados para uso militar, para o clima de Campo Grande - MS, usando indicadores de consumo de energia para climatização, geração de energia solar fotovoltaica e horas de desconforto térmico, por simulação computacional.

3. MÉTODO

A pesquisa é do tipo aplicada e de método dedutivo, possuindo abordagem quantitativa com objetivo metodológico explicativo. O procedimento se caracteriza como estudo de caso e experimental, usando simulação numérica. A seguir são apresentados os procedimentos de delimitação do objeto de estudo e as configurações utilizadas na simulação computacional.

3.1. Caracterização do local da pesquisa

O estudo de caso se deu considerando Campo Grande - MS como local de implantação da edificação de tipo contêiner. Foi utilizado o arquivo climático INMET (LABEE, 2018) no programa de simulação. As informações de Latitude, Longitude, Clima, Zona Bioclimática estão apresentadas na Tabela 1. O terreno foi inserido como em região acidentada, arborizada ou subúrbio.

Tabela 1 – Dados do local da pesquisa

Arquivo climático	BRA_MS_Campo.Grande.Intl.AP.868100_INMET
Latitude	-20,47°
Longitude	-54,67°
Fuso horário	-4 h
Elevação	556 m
Zona Bioclimática	6 - cf. NBR 15220-2 (ABNT, 2005)
Grupo climático	10 - cf. INI-C (BRASIL, 2021)

3.2. Caracterização do objeto

Como ferramentas de simulação energética de edificações, foram utilizados o programa *SketchUp Pro 2017* com *plug-in OpenStudio* 2.9.1 para modelagem, o *EnergypPlus* 9.2.0 para simulação, o *JEPlus* v2.1.0 para parametrização e o *JEPlus EA v2.1.0_beta_02* para os procedimentos de otimização.

Primeiro, o contêiner foi modelado no programa *SketchUp*, com o uso do *plug-in OpenStudio*, como uma única zona térmica, conforme Figura 1.



Figura 1 - Modelo do contêiner com 6 × 2,5 × h (comprimento × largura × altura) para uso misto de escritório e dormitório.

Em seguida, foram considerados:

- Dias de projeto: 21/11 (verão) e 21/7 (inverno), com informações climáticas específicas do arquivo *ddy* do arquivo climático *SWERA* de Campo Grande - MS, devido à disponibilidade de dados;
- Não foram considerados feriados e finais de semana para fins de rotinas de uso, devido à natureza intermitente do serviço militar;
- A temperatura do solo raso foi adotada do arquivo climático do INMET, sendo que foi utilizado o modelo do *Ground Domain* com o algoritmo de *Finitte Difference* para o cálculo das temperaturas do solo e a condutividade térmica do solo de 0,7 W/m.K (considerado brita);
- As rotinas de operação dos sistemas estão apresentadas na Tabela 2, e foram adotadas conforme a INI-C (BRASIL, 2021), NBR 16.401-1 (ABNT, 2008) e NBR 16.401-3 (ABNT, 2008).

Tabela 2 – Rotinas de ocupação e operação utilizadas nas simulações

Valores utilizados – cronograma	**Entre 7h e 17h (uso de escritório)**	**Demais horários (uso de dormitório)**
Níveis de atividades (W/pessoa)	115,0	72,0
Iluminação (W/m²)	10,0	25% do máximo
Equipamentos (W/m²)	9,7	25% do máximo
Taxa de ocupação (m²/pessoa)	10,0	10,0
Vestimentas (clo)	DynamicClothingModelASHRAE55	

- Placa solar fotovoltaica: foi considerada em todo o tamanho do telhado convencional do contêiner, de configuração simples, modo de integração de transferência de calor desacoplado, fração da área de 90%, modo de eficiência de conversão fixa e eficiência da célula de 17,54%, placa na direção do maior eixo do contêiner, em toda extensão da cobertura, conforme Figura 1. A saída de energia elétrica nominal 200W e inversor com eficiência de 0,9764.
- Ventilação, aquecimento e resfriamento: foi configurado um esquema de ventilação híbrida com o objeto *AvailabilityManager:HybridVentilation* (controle de temperatura 5 – usando limites de aceitabilidade de 80% de conforto adaptável) do *EnergyPlus*, sendo que abaixo de 18 ºC deve-se ligar o sistema de aquecimento; entre 18 ºC e 24 ºC é utilizada a ventilação natural; e a partir de 24 ºC é utilizado o sistema de resfriamento. A taxa de renovação simples foi considerada 0,0038 m³/s.pessoa (nível 3 da Tabela 1 da NBR 16.401-3). Para velocidade máxima do vento foi utilizado 10 m/s.
- O sistema HVAC utilizado foi o *Packaged Terminal Air Conditioner* (PTAC) com uma serpentina de resfriamento DX, uma serpentina de aquecimento (elétrica, gás ou água quente) e um misturador de ar externo (conforme parâmetros-padrão do *EnergyPlus*) e termostato de 18 ºC para aquecimento e 24 ºC para resfriamento.
- Os dados considerados para os materiais estão apresentados na Tabela 3. A cortina das janelas foi considerada no interior e os dados foram os mesmos utilizados por Alvarenga (2019). Os demais dados foram adotados conforme os valores disponíveis na NBR 15.220-2 (ABNT, 2005).

Tabela 3 – Características dos materiais e das configurações utilizadas na construção dos modelos

Material	**Espessura [m]**	**Condutividade térmica [W/m.K]**	**Massa específica [kg/m³]**	**Calor específico [J/kg.K]**	**Resistência térmica [m².K/W]**
Chapa de aço	0,002	55	7800	460	-
Placa de gesso	0,03	0,35	900	840	-
Piso de borracha	0,005	0,4	900	1600	-
Compensado naval	0,02	0,17	650	2300	-
Lã de vidro	0,025/0,05/0,075	0,045	20	700	-
Poliuretano	0,033 (equivalente)	0,03	40	1500	-
Camada de ar na parede	-	-	-	-	0,16
Camada de ar sobre telhado	-	-	-	-	0,21
Vidro transparente	0,003/0,006	0,9	-	-	-

- Os dados considerados para os componentes construtivos estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Dados construtivos e emprego dos materiais:

Construções	**Descrição:** os primeiros são os mais externos à edificação
Teto	Chapa de aço com poliuretano e placa de gesso (teto do contêiner) ou Chapa de aço isolada com camada de ar mais chapa de aço com poliuretano e placa de gesso (telhado complementar + teto do contêiner)
Paredes	Chapa de aço com camada de ar e lã de vidro (espessura variável, cf. Tabela 5) e acabamento em placa de gesso em diferentes cores (absortância solar variável, cf. Tabela 5)
Piso	Chapa de aço, compensado naval e piso de borracha junto ao solo
Janelas	Vidro (espessura variável, cf. Tabela 5), com e sem cortina interna, controlada manualmente, com *set point* de acordo com o funcionamento do ar-condicionado

3.3. Simulação paramétrica e otimização

Para a análise dos indicadores de consumo energético dos diversos sistemas da edificação, tais como o condicionamento de ar, iluminação e equipamentos, foi considerado o método de simulação padronizado pela INI-C (BRASIL, 2021).

Com relação às simulações paramétricas, foram consideradas 8 orientações em relação ao eixo Norte, 2 absortâncias solares das faces externas das paredes, 4 tipos de paredes, 2 tipos de cobertura, 2 tipos de vidro nas janelas, 2 alturas de contêiner, 3 tamanhos de janela e 4 ângulos da placa solar fotovoltaica em relação ao teto, apresentados na Tabela 5. A parametrização foi feita com o programa *JEPlus* tendo-se o arquivo de entrada (*idf*) configurado no programa *EnergyPlus*.

Tabela 5 – Parâmetros analisados totalizando 6.144 possibilidades*.

Parâmetro	**Valores**	**N***
P0 - Orientação ao eixo Norte [graus]	0; 45; 90; 135; 180; 225; 270 e 315	8
P1 - Absortância solar nas paredes [-]	0,372 (branco gelo) e 0,733 (azul escuro)	2
P2 - Tipo de parede	Chapa de aço + camada de ar + lã de vidro com variações (zero; 2,5; 5,0 e 7,5cm) + acabamento em placa de gesso;	4
P3 - Tipo de cobertura	Chapa de aço + poliuretano + aço + placa de gesso ou Chapa de aço + camada de ar + chapa de aço + poliuretano + aço + placa de gesso	2
P4 - Tipos de vidro nas janelas	Simples e transparente (3 e 6 mm de espessura)	2
P5 - Alturas de contêiner [m]	2,4 e 2,7	2
P6 - Tamanhos de janela [m]	1,00; 2,25 e 3,75 (largura da base)	3
P7 - Ângulo de inclinação da placa solar fotovoltaica [graus]	0; 10; 20 e 30	4

Observações: * N é o número de valores do parâmetro e 6.144 = 8 x 2 x 4 x 2 x 2 x 2 x 3 x 4.

As combinações dos parâmetros da Tabela 5 foram otimizadas com o programa *JEPlus+EA*, sem restrições e com três objetivos: (t1) minimizar o saldo do consumo de energia para aquecimento e resfriamento menos a eletricidade gerada pela placa solar fotovoltaica; (t2) minimizar o número de horas no ano que se encontram fora da zona de conforto térmico aceitável de 80% conforme a *ASHRAE Standard 55* (2017) e (t3) minimizar o consumo de energia para climatização. Dentro do objetivo de minimizar o saldo entre consumo e geração, foi dada atenção ao consumo de energia para climatização, com o intuito de minimizá-lo e com isso conseguir atender à climatização com a menor quantidade de placas solares fotovoltaicas possível.

Os parâmetros considerados para a otimização foram: tamanho da amostra igual a 20, tamanho da população igual a 10, algoritmo NSGA-II, método de amostragem Hipercubo Latino (*Latin Hypercube Sampling*). A otimização foi feita em um computador com processador Intel Core i5-4460 CPU 3.2GHz, reiniciadas 5 vezes, e interrompida pela última vez após 6 dias ininterruptos.

4. RESULTADOS

A otimização resultou em 82 gerações com 596 avaliações, sendo que o progresso das avaliações é mostrado na Figura 2. Esta figura mostra o tamanho da amostra, o incremento de soluções de Pareto e de novas soluções de Pareto identificadas.



Figura 2 – Progresso da otimização reiniciadas 5 vezes para análise da estabilização de novos números

A Figura 3 mostra o histograma com todos os resultados da otimização para as horas de desconforto térmico (quantidade excessivamente alta, visto que temos 8760 horas por ano) e para o consumo de energia (aquecimento e resfriamento) para climatização.

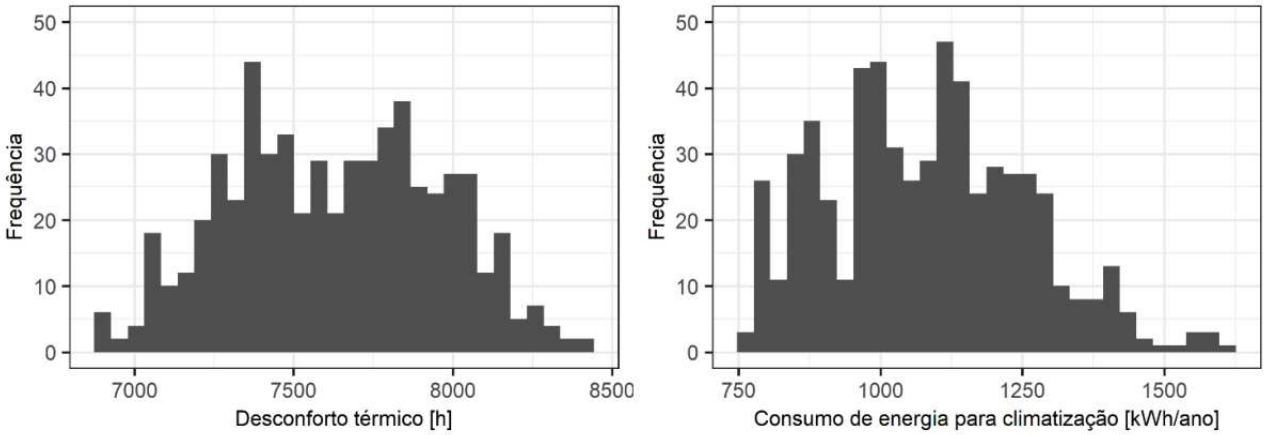


Figura 3 – histograma dos resultados de desconforto térmico e consumo de energia para climatização.

A Figura 4 apresenta os pontos obtidos com a relação entre o Consumo de energia para climatização e as Horas anuais de desconforto térmico. Nesta representação foram destacados os parâmetros de tamanho de janela (jan), absortância (abs) e orientação em relação ao Norte (ori). É interessante notar que a orientação solar de 90° esteve sempre próxima da curva de Pareto, diferentemente das demais orientações. Para a absortância solar, percebe-se que os menores valores estão relacionados mais ao aumento do desconforto térmico, enquanto os maiores valores estão relacionados ao aumento do consumo de energia.

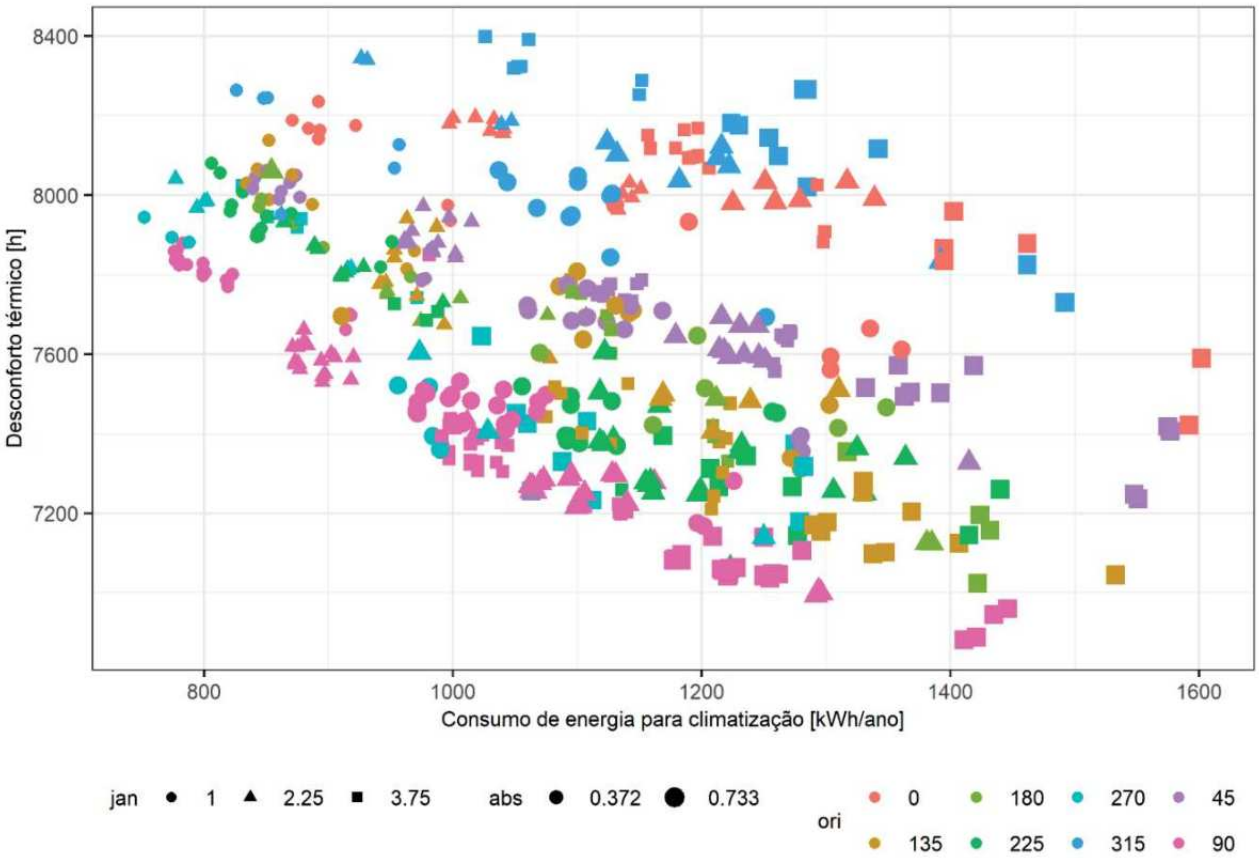


Figura 4 – Representação gráfica dos valores de consumo de energia para climatização e desconforto térmico.

A Figura 5 apresenta o gráfico de coordenadas paralelas obtido no JEPlus+EA. Os parâmetros (P) e objetivos (t) são os mesmos indicados no subitem 3.3. As linhas mais grossas representam maiores frequências de aparecimento na Fronteira de Pareto. No caso P0 (orientação em relação ao eixo Norte) o ângulo de 90º se destacou. A absortância solar das paredes (P1) mais baixa (0,372) apareceu mais vezes do que a absortância alta. O tipo de parede (P2) obteve frequência similar na fronteira de Pareto. O tipo de cobertura (P3) teve maior frequência com o telhado auxiliar (com câmara de ar). O tipo de vidro (P4) teve maior frequência no vidro simples de 3mm (vidro_1). Para a altura do contêiner (P5) houve mais valores com valor mais baixo (2,4m). A largura da janela (P6) não mostrou um valor mais frequente, sendo que a frequência foi parecida entre os níveis. Para o ângulo de inclinação da placa solar fotovoltaica (P7), o valor de 10° apareceu mais vezes.

Pode-se observar, também, que menores valores de horas fora da zona de conforto (t2) não são atingidos com menores consumos de energia para climatização (t3).

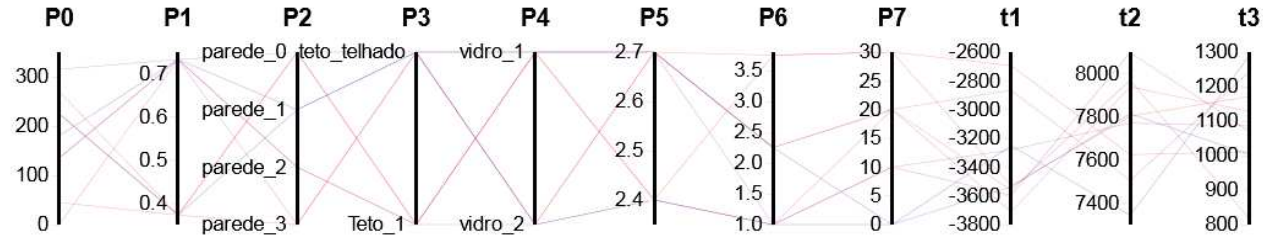


Figura 5 – Coordenadas Paralelas com dados da Frente de Pareto

A Tabela 6 apresenta os parâmetros com menores valores dos parâmetros para cada objetivo da otimização. O melhor caso para atender ao objetivo 1 (minimizar saldo de geração - consumo de energia) seria a orientação a 0°, baixa absortância solar das paredes externas, isolamento térmico de 2,5cm nas paredes, vidro de 6mm, menor área de abertura, e inclinação da placa solar de 20°. Estes valores estão relacionados às configurações que reduzem a carga térmica de resfriamento por diminuírem a absorção de energia solar pelas paredes e aberturas e por evitar alto fluxo de calor para o interior do ambiente. Para o objetivo 2 (minimizar as horas de desconforto térmico), a orientação foi de 90°, absortância solar alta, isolamento térmico de 5,0 cm nas paredes, vidro de 3mm e maior área de abertura, e 0° de inclinação da placa solar. Estes valores estão

relacionados às configurações que reduzem perdas de calor para o exterior e também permitem maior entrada de calor no ambiente, possivelmente devido ao desconforto térmico por frio (seja durante o período noturno ou o período de inverno). No caso do objetivo 3 (minimizar o consumo de energia), as configurações foram similares às do objetivo 1, com exceção do vidro de 3mm e da inclinação da placa solar de 10°. Todos os casos mostraram os mesmos valores de telhado complementar e altura do contêiner.

Pela análise do objetivo 1, há possibilidade de atendimento com os parâmetros analisados na Tabela 6. Porém, o número de horas em desconforto (objetivo 2) é muito alto, visto que o menor valor foi de 6.882 horas por ano. Tal fato se deve, possivelmente, pela alta temperatura média radiante interna do contêiner e será analisado detalhadamente na continuidade desta pesquisa, com a inclusão de sombreamento de algumas paredes externas do contêiner. Para o objetivo 3, a posição de menor energia para climatização (a 90°) não é a mesma configuração para a posição que gera mais energia com as placas solares fotovoltaicas pré-configuradas. Deverá ser verificado um melhor posicionamento das placas, juntamente com as inserções necessárias para melhorar o conforto térmico.

Tabela 6 – Parâmetros que obtiveram os melhores valores objetivos individualmente

Parâmetros	**Menor Objetivo 1***	**Menor Objetivo 2***	**Menor Objetivo 3***
Orientação em relação ao eixo Norte	0°	90°	90°
Absortância solar das paredes	0,372	0,733	0,372
Paredes	Parede com revestimento de 2,5 cm	Parede com revestimento de 5 cm	Parede com revestimento de 2,5 cm
Cobertura	Telhado complementar	Telhado complementar	Telhado complementar
Vidro nas janelas	6 mm	3 mm	3 mm
Altura de contêiner	2,4 m	2,4 m	2,4 m
Tamanho de janela (1m de altura)	1,00 m²	3,75 m²	1,00 m²
Ângulo da placa solar fotovoltaica em relação ao teto	20°	0°	10°

Observação: *Objetivo 1 - minimizar o saldo do consumo de energia para aquecimento e resfriamento menos a eletricidade gerada pela placa solar fotovoltaica e Objetivo 2 - minimizar o número de horas no ano que se encontram fora da zona de conforto aceitável de 80% conforme a ASHRAE 55 e Objetivo 3 – minimizar o consumo de energia para climatização.

5. CONCLUSÕES

O gráfico de Pareto, obtido com a otimização do JEPlus+EA, apresentou muitas soluções ótimas para as condicionantes definidas, cabendo ao projetista selecionar a melhor do ponto de vista técnico e disponibilidades locais. Dentre as conclusões preliminares, esta análise permite uma melhor escolha dos parâmetros utilizados nas próximas simulações do trabalho de mestrado do primeiro autor.

Pode-se constatar que o método empregado e os resultados encontrados podem ajudar projetistas e compradores, principalmente os da administração pública, a se conscientizaram na hora de definir as especificações técnicas de contêineres e como proceder com a adaptação destes equipamentos, principalmente levando-se em consideração a análise de conforto térmico e economia de energia. Uma observação a ser feita é que a combinação de parâmetros permite selecionar soluções cujas variáveis proporcionam um desempenho térmico satisfatório sem elevar demasiadamente os custos da edificação, como foi a maior altura do contêiner ou as mudanças de absortância solar.

Como limitações do estudo, relata-se que foi considerada uma especificação simples para as células fotovoltaicas, parâmetros fixos para a ventilação híbrida, intervalos grandes de variação da inclinação em relação ao eixo Norte e sem variações em relação a sombreamento de fachadas.

Como propostas de trabalhos futuros, pode-se citar: considerar o contêiner afastado do solo, sobre sapatas aparentes mantendo a laje de piso afastada do solo; incluir elementos de sombreamento na janela (conforme orientações da ABNT NBR 15.220-3 de 2005); incluir mais uma janela em parede oposta; alterar a direção das placas solares fotovoltaicas em relação ao menor eixo; analisar a minimização do custo de ciclo de vida, considerando os custos das implementações, os custos de energia para climatização e a economia gerada com a geração fotovoltaica; analisar o conforto térmico utilizando os parâmetros da proposta de atualização da norma brasileira NBR 16.401-2 (ABNT 2017). Tendo em vista a possibilidade de o contêiner ser utilizados em outras regiões do Brasil, pelo próprio Exército, pode ser objeto de estudo futuro as análises para outras cidades com diferentes características bioclimáticas obtendo-se, possivelmente, diferentes soluções ótimas em cada contexto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARENGA, U. G. A. **Simulação do uso de materiais de mudança de fase em habitação de interesse social em cidades de regiões bioclimáticas do Sul do Brasil**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, RS.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 15.220-2 – 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.** Brasil, 2008.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 16.401-1 – Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários. Parte 1: Projetos de Instalações.** Brasil, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 16.401-3 – Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários. Parte 3: Qualidade do ar interior.** Brasil, 2008.

ASHRAE 55. **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**, 2017. American Society of Heating, Refrigeration and Air conditioning Engineers Inc. – 1791 Tulie Circle, N.E. Atlanta GA 30329

ATMACA, N. 2017. Life-cycle assessment of post-disaster temporaryhousing. Building Research & Information 45(5): 524–538.

AWANG, A. H.; DENAN, Z.; HANITA, N.; *et al*. Office Interior: The Influence of Office Environmental Factors towards Task Performance. **International Journal of Engineering & Technology**, v. 7, p. 116–119, 2018.

BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. Portaria nº 42, de 24 de fevereiro de 2021. **Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C)**. Diário Oficial de União. Publicado em: 09/03/2021 / Edição: 45 / Seção: 1 / Página: 44. Disponível em: https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-42-de-24-de-fevereiro-de-2021-307486285 . Acesso em: 25 Mar. 2021.

BRASIL. Lei Complementar 97, de 9 de junho de 1999. **Dispõe sobre as normas gerais para a organização, o preparo e o emprego das Forças Armadas.** Brasilia, DF. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lcp/lcp97.htm. Acesso em: 10 dez 2020.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Reguladora 15 – Atividades e Operações Insalubres**, de 09 dez 2019. Brasilia, DF. Disponível em: https://sit.trabalho.gov.br/portal/index.php/ctpp-nrs/nr-15?view=default. Acesso em: 10 dez 2020.

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. **Instrução Normativa nº 01 - Dispõe sobre os critérios de sustentabilidade ambiental na aquisição de bens, contratação de serviços ou obras pela Administração Pública Federal direta, autárquica e fundacional**, de 19 jan 2010. Brasilia, DF. Disponível em: https://portal.tcu.gov.br/lumis/portal/file/file Download.jsp?fileId= 8A81881F7595543501762A30FA9A2BA7. Acesso em: 10 dez 2020.

DARA, C.; HACHEM-VERMETTE, C.; ASSEFA, G. Life cycle assessment and life cycle costing of container-based single-family housing in Canada: A case study. **Building and Environment**, v. 163, n. July, p. 106332, 2019.

DEB, K.; PRATAP, A.; AGARWAL, S.; *et al*. A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. **IEEE Transactions on Evolutionary Computation**, v. 6, n. 2, p. 182–197, 2002.

CHEN, X., YANG, H., SUN, K., A holistic passive design approach to optimize indoor environmental quality of a typical residential building in Hong Kong, Energy, v. 113, p. 267-281, 2016.

EVINS, R. A review of computational optimisation methods applied to sustainable building design. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 22, p. 230–245, 2013.

FONSECA, L. P. G.; NUNES, V. D. L.; SANTANA, L. O.; et al. Otimização multiobjetivo das dimensões dos ambientes de uma residência unifamiliar baseada em simulação energética e estrutural. **Ambiente Construído**, v. 17, n. 1, p. 267–288, 2017.

ISLAM, H.; ZHANG, G.; SETUNGE, S.; *et al*. Life cycle assessment of shipping container home: A sustainable construction. **Energy & Buildings**, v. 128, p. 673–685, 2016.

LABEEE, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. **Arquivos climáticos INMETRO 2018**, 2018. Disponível em: http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/inmet2018. Acesso em: 14 Mar 2021.

LINCZUK, V. C. C.; BASTOS, L. E. G. Otimização multiobjetivo orientada ao desempenho térmico para o projeto de edificações de baixo consumo de energia na Região Sul do Brasil. **Ambiente Construído**, v. 20, n. 4, p. 509–529, 2020.

MCCONNELL, C.; BERTOLIN, C. Quantifying Environmental Impacts of Temporary Housing at the Urban Scale: Intersection of Vulnerability and Post-Hurricane Relief in New Orleans. **International Journal of Disaster Risk Science**, v. 10, n. 4, p. 478–492, 2019.

ORMANDY, D.; EZRATTY, V. Health and thermal comfort: From WHO guidance to housing strategies. **Energy Policy**, v. 49, p. 116–121, 2012.

OROSA, J. A.; OLIVEIRA, A. C. A new thermal comfort approach comparing adaptive and PMV models. **Renewable Energy**, v. 36, n. 3, p. 951–956, 2011.

PIRES, F. **Valor Econômico**. 2015. Disponível em: http://www.valor.com.br/internacional/3871772/movimento-de-conteineres-no-porto-de-roterda-aumenta-58-em-2014 . Acesso em: 10 dez. 2020.

SANTOS, L. M. A. dos. Hospital Militar de Campanha: móvel, modular e autônomo. **Revista Científica Semana Acadêmica**, v. 1, n. 108, 2017. Disponível em: <https://semanaacademica.com.br/artigo/hospital-militar-de-campanha-movel-modular-e-autonomo>.

VIANA, F. S.; SOUZA, H. A. de; GOMES, A. P. Residência em contêiner: comparativo de estratégias para a melhoria do desempenho térmico. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 10, p. e019011, 2019.

WANG, C.; ZHU, Y.; QU, J.; *et al*. Automatic air temperature control in a container with an optic-variable wall. **Applied Energy**, v. 224, n. May, p. 671–681, 2018.

AGRADECIMENTOS

Aos professores e colaboradores do Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Eficiência Energética e Sustentabilidade da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (PPGEES/UFMS/MEC – Brasil) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (Capes), Código de Financiamento 001.