

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES POPULARES CONSTRUÍDAS COM CONTAINER

Tamires Morcelli Monforte¹

tamiresmonforte@id.uff.br

Cristiano Saad Travassos do Carmo¹

cristianotravassos@id.uff.br

Renata Gonçalves Faisca¹

renatafaisca@id.uff.br

Tamires Biasuz Nery Santos¹

tamiresbiasuz@id.uff.br

ÁREA: SUSTENTABILIDADE NAS EDIFICAÇÕES REVITALIZADAS

Resumo

A demanda por sustentabilidade no fluxo de projetos cresce exponencialmente, visto que fatores ambientais e econômicos podem ser uma grande barreira na construção de um empreendimento. Diversos tópicos podem ser incluídos em um projeto sustentável, dentre os quais eficiência energética e reutilização de materiais se destacam. À luz deste fato, o artigo apresenta uma análise da eficiência energética em containers que visa atender a demanda por habitações temporárias, estudantis e/ou para famílias de baixa renda. O projeto moradia-container, com uma área em planta baixa de, aproximadamente, 30 m² é voltado para o clima tropical de cidades brasileiras. Foram estudados diversos tipos de materiais para a cobertura do container, que foi modelada e simulada utilizando ferramentas computacionais. A análise permitiu confirmar a importância da escolha do material para o aumento da eficiência energética do container, contribuindo com soluções mais sustentáveis e viáveis economicamente.

Palavras-chave: Eficiência Energética

Moradia Popular

Reutilização de Container

Simulação Computacional

¹ Universidade Federal Fluminense



EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICACIONES POPULARES CONSTRUIDAS CON CONTENEDORES

Tamires Morcelli Monforte²

tamiresmonforte@id.uff.br

Cristiano Saad Travassos do Carmo¹

cristianotravassos@id.uff.br

Renata Gonçalves Faisca¹

renatafaisca@id.uff.br

Tamires Biasuz Nery Santos¹

tamiresbiasuz@id.uff.br

AREA: SOSTENIBILIDAD EN LAS EDIFICACIONES REVITALIZADAS

Resumen

La demanda de sostenibilidad en el flujo de proyectos se incrementa exponencialmente, ya que factores ambientales y económicos pueden ser una gran barrera en la construcción de un emprendimiento. Diversos tópicos pueden ser incluidos en un proyecto sostenible, entre los cuales la eficiencia energética y el reúso de materiales se destacan. Al considerar este hecho, el artículo presenta un análisis de eficiencia energética en contenedores que objetivan atender la demanda por viviendas temporales, estudiantiles y/o para familias de bajos ingresos. El proyecto vivienda-contenedor, con un área en planta baja de aproximadamente 30 m², está orientado al clima tropical de ciudades brasileñas. Se estudiaron diversos tipos de materiales para la cobertura del contenedor, que fue modelada y simulada utilizando herramientas computacionales (softwares). El análisis permitió confirmar la importancia de la elección del material para el aumento de la eficiencia energética del contenedor, contribuyendo con soluciones más sostenibles y viables económicamente.

Palabras clave: Eficiencia energética
Vivienda popular
Reúso de contenedor
Simulación Computacional

² Universidade Federal Fluminense

Introdução

De acordo com o levantamento da Fundação Getúlio Vargas (FGV), o Brasil apresentou um déficit habitacional de cinco milhões de moradias no fim de 2014 e prevê a necessidade de proporcionar mais moradias para cerca de 16,8 milhões de famílias. Diante dessa demanda, são necessárias soluções governamentais como a construção de casas populares alinhadas com conceitos do séc. XXI principalmente aqueles relacionados com sustentabilidade e consumo de energia. A criticidade em relação à conscientização energética se deve ao fato das cidades e áreas urbanas serem responsáveis por 71-76% de todas as emissões dos gases de efeito estufa e 67-76% de toda a demanda de energia primária, segundo Kuittinen (1).

A preocupação com construções mais eficientes energeticamente e que proporcionem conforto térmico e redução de consumo para os moradores é um anseio no cenário mundial. Estima-se que entre 30 e 40% de toda a energia primária é utilizada em construções em todo o mundo UNEP (2) e, de acordo com a Agência Internacional de Energia (AIE) (3), isso poderia aumentar para 38,4 PWh em 2040. Portanto, segundo Santamouris (4), a minimização do consumo de energia, a erradicação da pobreza de combustível e a mitigação das mudanças climáticas são os principais desafios do setor da construção.

Sendo assim, com base no cenário atual brasileiro de demanda habitacional e a necessidade de redução de consumo de energia, este estudo propõe um novo modelo de moradia popular mais sustentável: a habitação container.

De acordo com Vijayalaxmi (5), estima-se que a reutilização de materiais de construção economiza cerca de 95% da energia incorporada. A energia incorporada de aço reciclado, por exemplo, é de aproximadamente um quarto da energia necessária para criar aço a partir do material virgem. Portanto, a reutilização de containers de transporte utiliza muito menos materiais e energia incorporada do que qualquer tipo de construção de edifícios, reafirmando sua importância em questões de sustentabilidade, de acordo com Uittenbroek e Macht (6).

Em 2009, Nunes (7) afirmou que os containers têm elevado desempenho estrutural, suportando alto carregamento, excelente resistência contra patologias corrosivas e Smith (8) concluiu, em 2005, que são facilitadores da construção modularizada, entre outros benefícios. Contudo, mesmo com tantas vantagens, o número de habitações de containers ainda é bastante baixo em todo o mundo devido à falta de força de trabalho qualificada para lidar com novos materiais e métodos, como constatado em 2013 por Bernardo *et al.* (9). Contrastando com a sua baixa adoção, mais de 17 milhões de contêineres de transporte estão disponíveis para reutilização depois de serem utilizados para fins de frete, em nível global, de acordo com Michael (10).

Diante do exposto, é evidente que, ao usar containers de transporte antigos, este sistema contribui para a sustentabilidade da reciclagem e construção, como afirma Lun (11).

Formulação das questões norteadoras

O déficit de moradias no Brasil, a demanda por construções cada vez mais sustentáveis e a necessidade da redução do consumo de energia ampliou a demanda por pesquisas que interligassem essas três abordagens. Sendo assim, as seguintes questões foram consideradas:

- É possível reutilizar um container marítimo como moradia popular atendendo aos requisitos de conforto térmico?
- Qual o melhor material utilizado para a cobertura do container a fim de ampliar o conforto térmico?

Metodologia de Pesquisa

Foi elaborada uma revisão da literatura baseada no conceito SLR (*Systematic Literature Review*) com adaptações e, assim, foram obtidos 159 artigos utilizando a base de dados da SCOPUS. Por fim, após uma análise qualitativa, foram selecionados os 10 artigos mais pontuados para compor o portfólio bibliográfico. Os mesmos foram lidos integralmente e foram listadas suas principais contribuições conforme pode ser observado na tabela 1, abaixo.

Tabela 1: Contribuições por autor dos artigos selecionados

Autor	Contribuições
(Kaveh e Mahdavi, 2013)	Desempenho no ambiente interno do container inferior quando comparado ao das escolas comuns.
(Vijayalaxmi, 2010)	Gasto maior de energia de aproximadamente 35000 MJ nos edifícios convencionais quando comparado ao container sustentável.
(Khaled <i>et al</i> , 2011)	A seleção de condições de contorno para simulação dinâmica e parâmetros de material, condutividade térmica, capacidade de calor, albedo, emissividade para simulação de radiação térmica é a chave da qualidade da simulação.
(Matti e Atsushi, 2017)	Os abrigos de madeira apresentam melhor desempenho na comparação com abrigos pré-fabricados e de container marítimo. Além disso, os abrigos em edifícios mais longos ou empilhados aumentam sua eficiência energética.
(Bernardo <i>et al</i> , 2013)	O cálculo de projetos de container não é fácil devido principalmente à ausência de parâmetros tabelados de algumas propriedades geométricas e a falta de experiência sobre os perfis que compõem o container.
(Atmaca, 2016)	A energia do ciclo de vida e a intensidade das emissões em containers são maiores que em casas pré-fabricadas. A energia incorporada das construções representa 12-14% do consumo total de energia do ciclo de vida.
(Islam <i>et al</i> , 2016)	A fase de operação tem o impacto mais dominante para todos os indicadores, exceto o uso de água e geração de resíduos sólidos. Os impactos do ciclo de vida aumentariam com 100 anos de vida útil.
(Carlos <i>et al</i> , 2017)	É possível fornecer casas onde os padrões são melhorados em condições de conforto sem usar meios artificiais, 99,67% do tempo atualmente e 88,89% no futuro.
(Derradji <i>et al</i> , 2016)	Pode-se atingir até 70% de economia de energia em aquecimento e ar condicionado. Para o resfriamento, a espessura de isolamento ideal do EPS varia entre 1 cm e 2,5 cm, as economias de energia variam entre 0,5 e 1,5 \$ / m ² .
(David <i>et al</i> , 2012)	O uso de telhado frio e ventilação natural combinada melhoram 16% nas condições térmicas dentro do prédio. Assim, <i>cool roof</i> podem ser uma boa solução para melhorar as condições de vida em casas de baixo custo.

Relevância do estudo

Os artigos selecionados foram submetidos no *VOSviewer* para criar uma base de publicações baseada em uma rede de co-ocorrência. Como critério para obter o mapa de ocorrências foi escolhido o mínimo de duas ocorrências e 60% de relevância dos termos. Além disso, foram eliminadas palavras fora do contexto da pesquisa. Sendo assim, foi gerado um mapa de co-ocorrências como pode ser observado na figura 1, abaixo.

As cores do mapa da figura 1 demonstram a concentração de termos nos artigos, em que a cor vermelha corresponde à maior concentração e a azul, à menor. Dentro desse campo, palavras relacionadas às trocas térmicas e container foram as mais abordadas, porém aparentemente sem conexão. Portanto, essa análise permite concluir que existe uma escassez de artigos que correlacionam estudos de containers marítimos com parâmetros de eficiência energética. Sendo assim, o presente artigo objetiva preencher parcialmente essa lacuna científica.

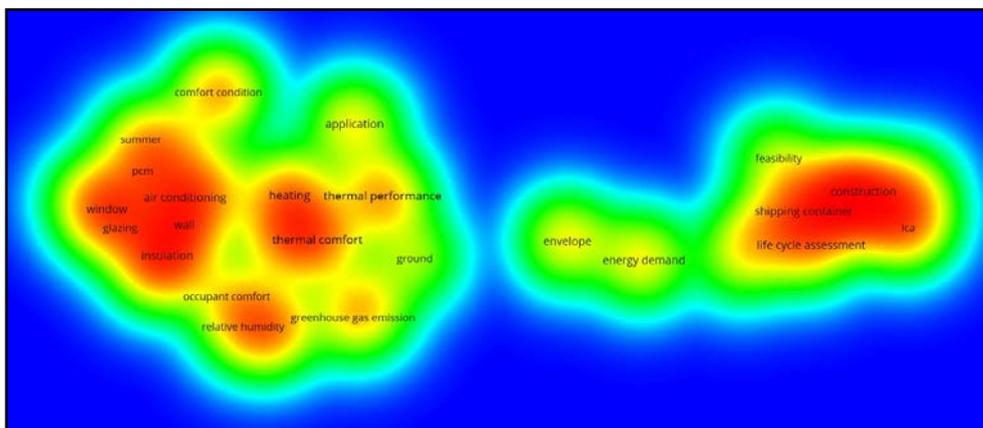


Figura 1: Mapa de co-ocorrências (rede de visualização de densidade)

Fonte: os autores

Estudo de caso

Descrição e localização do container

Um modelo de container padrão, estabelecido pela NBR ISO 1496-1: 2013 (13), foi modelado no *software* Revit, da *Autodesk*, e no *DesignBuilder*, versões *trial*. O container possui 12,2 m de comprimento, 2,44 m de largura e 2,58 m de altura, totalizando 30 m² de área útil. A região para implantação do container foi escolhida próxima ao Aeroporto Internacional Tom Jobim no Rio de Janeiro com latitude de -22,9° e longitude de -43,2°, no horário de Brasília. O modelo habitacional, adaptado de Pulcherio (14), é composto por um (1) quarto, um banheiro, uma cozinha e possui uma janela e uma porta de acesso em extremidades opostas, conforme ilustra a figura 2.

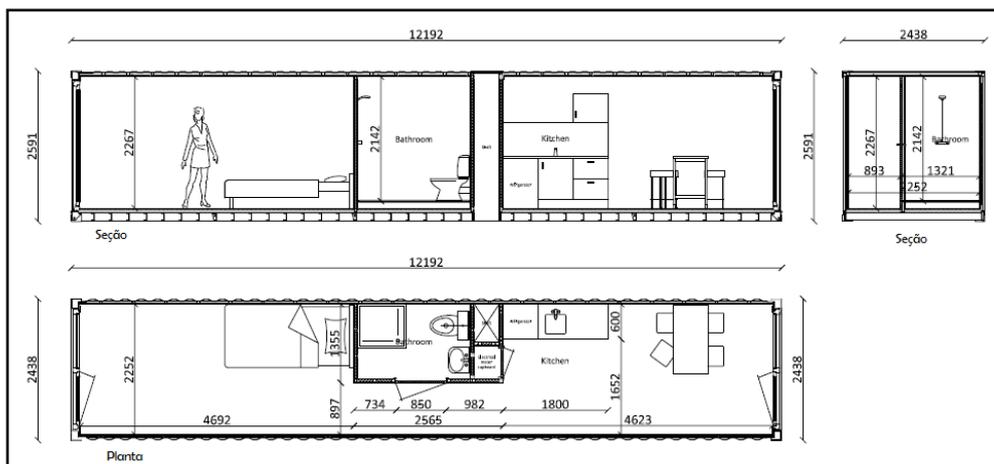


Figura 2: Dimensões da habitação em container

Fonte: adaptado de Pulcherio (14).

Composição da envoltória

O uso de técnicas modernas de isolamento melhora o desempenho do envelope do edifício, afirmam Islam *et al.* (15). Portanto, para a parede do container, foram utilizados como revestimento uma espuma de poliuretano de 1,27 cm de espessura e um acabamento em argamassa com 2 cm de espessura. Para o piso, foi considerado um contrapiso de 1,27 cm coberto por uma cerâmica de 0,70 cm de espessura. A figura 3, abaixo, ilustra a composição da envoltória do container, na qual o item a detalha a parede e o item b mostra detalhes do piso.

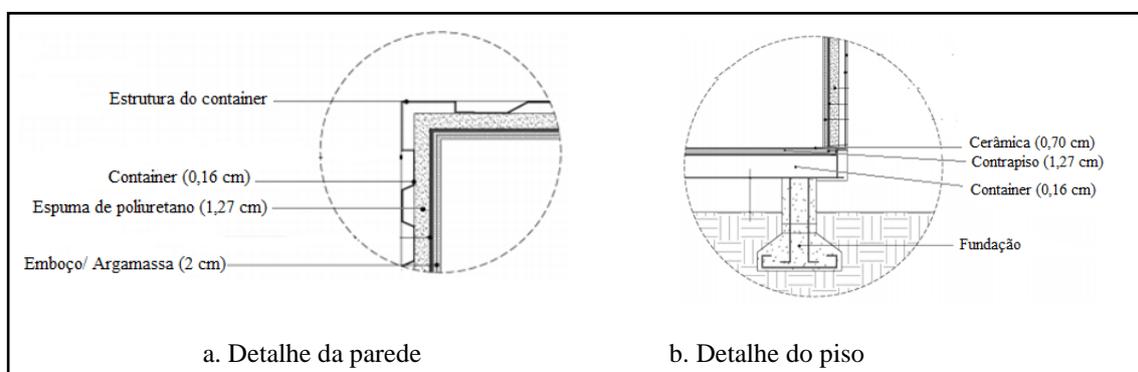


Figura 3: Detalhes da composição da envoltória do container

Fonte: os autores

Composição da cobertura

De acordo com Almeida (16), o espaçamento de ar entre telhas de 5 cm conduz a menores valores de temperatura. Sendo assim, tendo em vista a importância da cobertura para o conforto térmico, foram modelados três diferentes tipos de coberturas para o container com suas propriedades térmicas e dimensões descritas na tabela 2.

Tabela 2: Propriedades térmicas e dimensões dos modelos de cobertura

	MODELO A	e (cm)	MODELO B	e (cm)	MODELO C	e (cm)
Externa	Telha cerâmica	1,27	Telha cerâmica	1,27	Superfície metálica	0,30
Camada 1	Rolo de lã de vidro	1,27	Poliestireno expandido	1,27	-	
Camada 2	Lacuna de ar	5,00	Lacuna de ar	5,00	-	
Camada 3	Superfície de metal	0,30	Superfície de metal	0,30	-	
Interna	Placas de gesso	1,27	Placas de gesso	1,27	-	
U	0,359 W/m ² K		0,359 W/m ² K		7,139 W/m ² K	
R	2,785 m ² K/W		2,785 m ² K/W		0,14 m ² K/W	

e: espessura da camada

U: transmitância térmica;

R: resistência térmica.

Fonte: os autores

Resultados e Discussões

Após a modelagem do container no *software DesignBuilder*, foi feita a avaliação dos resultados com o auxílio da ferramenta *CBE Thermal Comfort*. Vale ressaltar que a modelagem no programa Revit visou avaliar a coerência da modelagem no *DesignBuilder*, para validar este modelo virtual.

Sendo assim, foi utilizado o gráfico de distribuição da temperatura do ar e de temperatura radiante média para determiná-las no container. Para os modelos A e B, obteve-se que na maior parte do tempo, a temperatura do ar encontra-se em torno dos 25°C em períodos mais quentes; e em dias mais frios, a temperatura mínima está em torno de 17°C. Entretanto, para o modelo C, composto apenas de material metálico na cobertura, a temperatura do ar foi distinta, durante o maior número de horas, atingindo-se 28°C para dias mais quentes e 14°C em dias mais frios.

O outro parâmetro essencial para avaliar o conforto térmico é a temperatura radiante média. Sendo assim, de acordo com os resultados de distribuição de temperatura, os modelos A e B apresentam valores idênticos para esse indicador, com o valor de 24°C para os períodos mais quentes e 17°C em períodos mais frios durante o maior número de horas. Já o modelo C, para essa variável, apresentou valores mais extremos de temperatura, alcançando 27°C e 14°C, respectivamente, durante a maior parte do tempo.

A temperatura do ar, a temperatura radiante média, a velocidade do ar e a umidade relativa do ar são parâmetros primordiais para calcular o PMV - *Predicted Mean Vote* (voto médio) e o PPD - *Predicted Percentage of Dissatisfied* (porcentagem de pessoas insatisfeitas). Sendo assim, para a modelagem, foi considerado o valor médio anual de 84,9% e 84,4% de umidade relativa do ar para os modelos A/B e C, respectivamente. Para a velocidade do ar, utilizou-se o valor conservativo mínimo de 0,1 m/s em todos os três modelos já que a norma ASHARE 55 – 2017 (17) prevê um aumento de velocidade apenas quando o usuário tem controle sob a velocidade do ar. Como o container foi modelado apenas prevendo ventilação natural, optou-se por usar um valor conservativo caracterizado pelo pior cenário. Sendo assim, as figuras 4 e 5, a seguir, apresentam os resultados da comparação dos valores de PMV e PPD para os três diferentes modelos de telhado baseados nos gráficos psicométricos obtidos através da ferramenta *CBE Thermal Comfort*.

A figura 4, abaixo, apresenta a situação para dias que no maior número de horas ocorrem temperaturas mais elevadas e o valor de isolamento térmico das roupas é de 0,5 clo (roupas leves). Para o período, a taxa de metabolismo utilizada foi de 1,2 met, a qual segundo a ISO

7730:2005 (18) corresponde a atividades sedentárias em escritórios, residências, escolas e laboratórios. Nesse caso, o PMV obtido para o container com cobertura de lã de vidro e EPS foi de 0,19, o que, conseqüentemente, leva a uma sensação de conforto térmico no interior do container mesmo quando ocorrem temperaturas mais elevadas. Contudo, o modelo de telhado metálico corresponde a um PMV de 1,13, o que provoca uma sensação de desconforto térmico gerando uma percepção de excessivo calor ao usuário. A partir dos resultados do PMV, pode-se concluir que para temperaturas radiante média e do ar mais frequentemente elevadas, o PPD nos modelos A e B são iguais a 6%, enquanto no modelo C essa porcentagem é aproximadamente cinco vezes maior que nos modelos anteriores, atingido 32%.

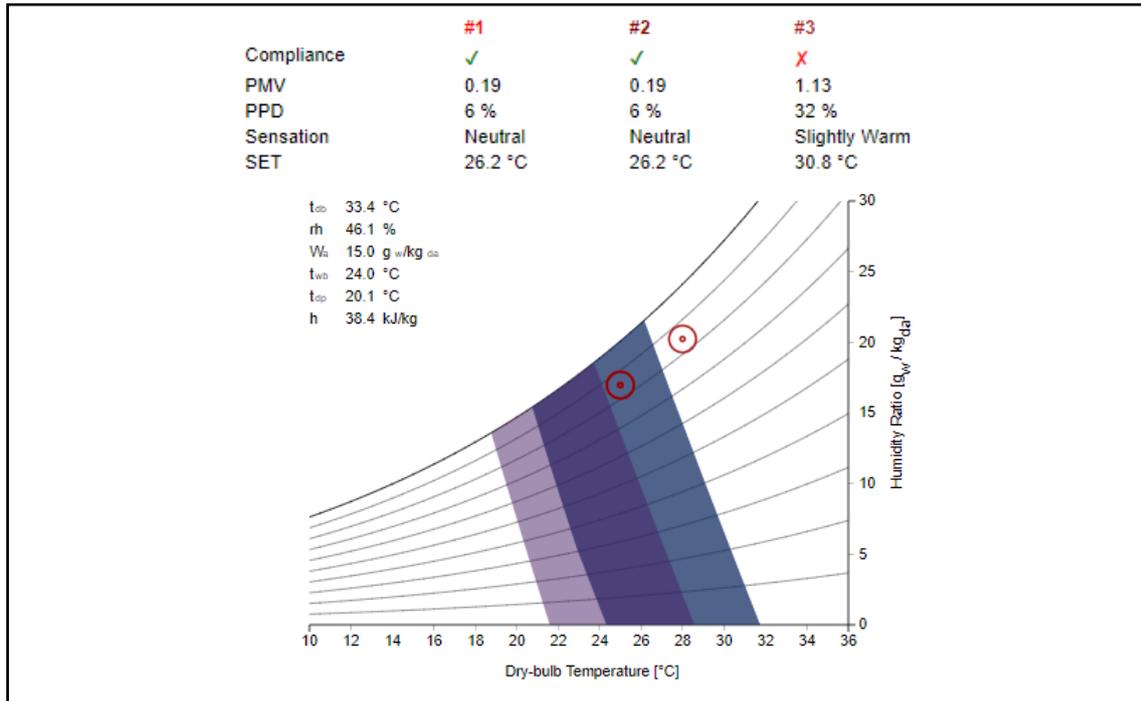


Figura 4: Sensação de conforto térmico em dias mais quentes

Fonte: dados da pesquisa

A figura 5, a seguir, apresenta as temperaturas mais baixas obtidas no maior número de horas no interior do container. O valor do isolamento térmico considerado foi de 1,0 clo, o qual equivale ao uso de roupas mais pesadas como calça e casaco e a taxa de metabolismo utilizada foi de 1,2 met. Nesta situação, os modelos A/B e C apresentam um PMV de -0.83 e -1.52, respectivamente. Conseqüentemente, esses resultados de PMV levam a um desconforto térmico no interior do container provocando uma sensação de frio. Nos modelos com isolamento térmico obteve-se um percentual de pessoas insatisfeitas de 20% enquanto que no modelo sem isolamento essa porcentagem mais que dobrou, alcançando 52% de PPD.

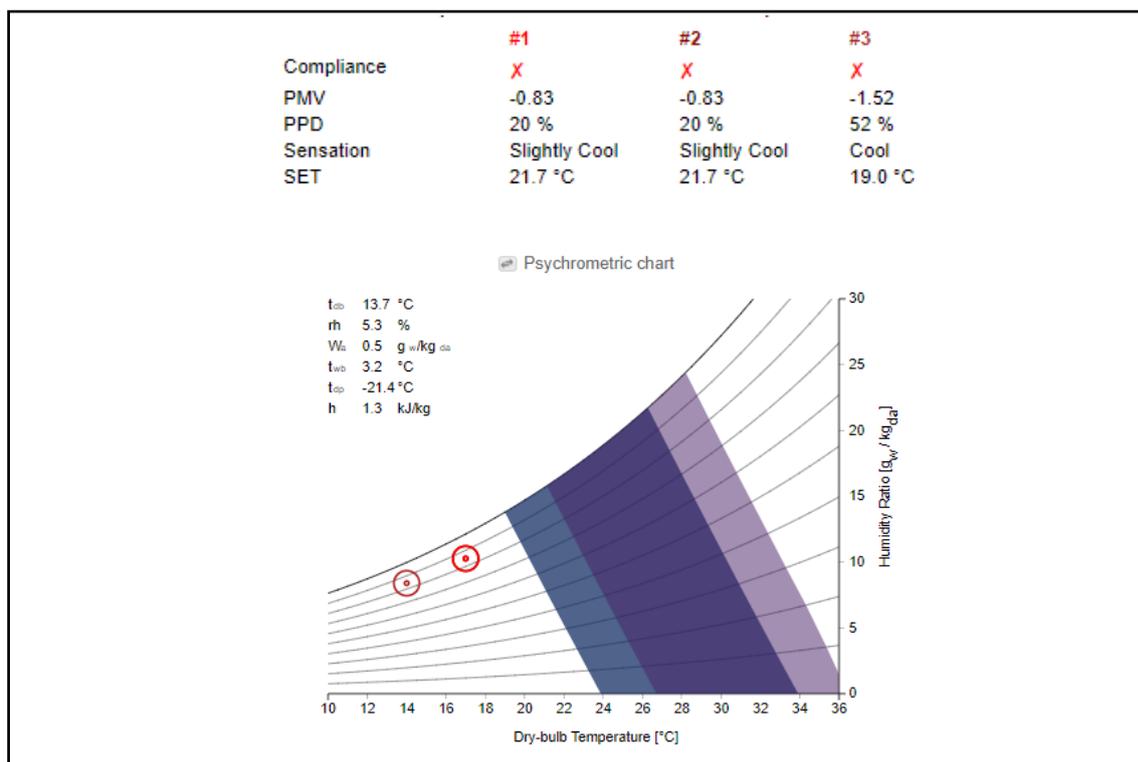


Figura 6: Sensação de conforto térmico em dias mais frios

Fonte: dados da pesquisa

Conclusões

A partir dos resultados obtidos, pôde-se perceber claramente que os modelos dotados de isolamento térmico possuem menor amplitude térmica anual, o que favorece o dimensionamento e funcionamento de sistemas tanto de resfriamento quanto de aquecimento. Para o estudo de caso proposto, pôde-se concluir, também, que o uso de coberturas do tipo sanduíche utilizando isolamento de lã de vidro ou de poliestireno expandido (EPS) produzem praticamente o mesmo efeito para a sensação de conforto térmico.

Além disso, para os modelos com isolamento térmico, apenas são atendidas as condições mínimas de conforto térmico da ASHARE 55: 2017 (17) nas épocas de temperatura mais elevada, ou seja, no qual o PMV está entre o intervalo de -0,5 a +0,5 e a percentagem de pessoas insatisfeitas não é superior a 10%. Com isso, nenhum dos três modelos atende durante todo o ano as recomendações de PMV e PPD previstas na ASHARE 55: 2017 (17). Mas, é necessário considerar que, nesses modelos, apenas foi considerada a ventilação natural, ou seja, sistemas de resfriamento/aquecimento podem eliminar essa não conformidade.

Nesse sentido, foi considerado satisfatório o resultado obtido para a reutilização de container marítimo em moradias populares, mesmo que tenha a necessidade de algum aparelho de aquecimento/resfriamento nas condições propostas do estudo de caso.

Agradecimentos

Esse trabalho só foi possível ser realizado através da Universidade Federal Fluminense (UFF) e do trabalho em conjunto de professores e alunos. Deve-se um especial agradecimento ao Eng. Eduardo Pulcherio pelo fornecimento detalhado da composição de containers encontrados no mercado nacional.

Bibliografia

- (1) KUITTINEN, M. **The energy efficiency and carbon footprint of temporary homes: a case study from Japan.** Aalto University, Finlândia, 2016, pp. 326 – 341.
- (2) United Nations Environment Programme (UNEP) Sustainable Buildings & Climate Initiative (SBCI), **Buildings and Climate Change: Summary for Decision Makers,** UNEPSBCI, França, 2009, pp.3.
- (3) INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **World Energy Outlook,** Paris, 2013.
- (4) SANTAMOURIS, M. **Innovating to zero the building sector in Europe: Minimising the energy consumption, eradication of the energy poverty and mitigating the local climate change.** Solar Energy, 2016, pp. 61–94.
- (5) VIJAYALAXMI, J. **Towards sustainable architecture a case with Greentainer.** Local Environment: The International Journal of Justice, 2010.
- (6) UITTENBROEK, C.; MACHT, W. **Sustainable Containers: Cost-Effective Student Housing.** Quarterly & Urban Development Journal, 4th Quarter, 2009.
- (7) NUNES, N. C. G. **Exploitation of shipping containers for housing.** Dissertação de Mestrado, University of Beira Interior, Portugal, 2009.
- (8) SMITH, J. **Shipping containers as building components, the creative common attribution non-commercial.** Dissertação de Mestrado, University of Brighton, England, 2005.
- (9) BERNARDO, L.; OLIVEIRA, L.; NEPOMUCENO, M.; ANDRADE, J. **Use of refurbished shipping containers for the construction of housing buildings: details for the structural project.** Journal of civil engineering and management, 2013; pp. 1-19.
- (10) MICHAEL, G. 2010, **Petite force: container housing,** 14 de julho de 2010 www.michaelbgreen.com.au/node/69, acessado em 11 de Novembro de 2017.
- (11) LUN, Y. H. V. **Green management practices and firm performance: a case of container terminal, Resources, Conservation and Recycling,** 2011.
- (12) COELHO, J. F. L. **Diretrizes para implementação do BIM (Building information Modeling) no Brasil.** Dissertação de mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.
- (13) INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 1496-1: Series 1 Freight Containers-Specification and Testing - Part 1: General Cargo Containers for general purpose.** United States of America, 2013.
- (14) PULCHERIO, E.S. **Avaliação do ciclo de vida de produtos e edificações com foco para engenharia civil – estudo de caso.** Projeto de conclusão de curso de graduação, Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 2016.
- (15) ISLAM, H.; ZHANG, G.; SETUNGE, S.; BHUIYAN, M.A. **Life cycle assessment of shipping container home: a sustainable construction.** Royal Melbourne Institute of Technology, Australia, 2016.
- (16) ALMEIDA, E.A; SOUZA, F.A; MILANI, A, P; FURLAN, R.L; TURCO, J.E.P. **Estudo de diferentes coberturas e espaçamentos entre camadas duplas sobre a temperatura superficial da telha e do ambiente.** XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – COMBEA, Campo Grande – MS, 2014.
- (17) ASHRAE Standard 55-2017: **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.** United States of America, 2017.
- (18) INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7730- 2005: Moderate thermal environments - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort.** United States of America, 2005.