

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS



22/11 | evento
23/11 | 100% online
24/11 | e gratuito

TENDÊNCIAS DE CONFORTO TÉRMICO EM UM PROJETO ALTERNATIVO UTILIZANDO REGRESSÃO LINEAR E O MÉTODO DOS MÍNIMOS QUADRADOS ORDINÁRIOS

Larissa dos Santos Borges

Mestranda em Engenharia Mecânica, ITEC, Universidade Federal do Pará, Ananindeua, Pará, Brasil
larissa.borges@ananindeua.ufpa.br

Jean Carlos de Almeida Nobre

Mestrando em Engenharia Mecânica, ITEC, Universidade Federal do Pará, Ananindeua, Pará, Brasil
jean.nobre@ananindeua.ufpa.br

David Lohan Pereira Sousa

Mestrando em Engenharia Mecânica, ITEC, Universidade Federal do Pará, Ananindeua, Pará, Brasil
david.sousa@ananindeua.ufpa.br

Luiz Claudio Fialho Andrade

Doutor em Engenharia Mecânica, FEM, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, Brasil
lfialho@ufpa.br

Resumo: A crescente preocupação com os impactos ambientais decorrentes do uso de materiais convencionais na construção civil tem impulsionado significativamente a busca por soluções de projeto mais sustentáveis e termoenergeticamente eficiente. Nesse contexto, um estudo foi conduzido adotando os parâmetros da norma ISO 7730, com o objetivo de investigar os níveis de conforto térmico ao longo de um ano em uma estrutura alternativa com área de 100 m², projetada para a cidade de Palmas, no estado de Tocantins. Para conduzir essa investigação, foram empregados os *softwares* de modelagem estrutural *SketchUp*, *OpenStudio* e *EnergyPlus*, que possibilitaram simulações detalhadas do comportamento térmico do edifício alternativo. Com base nessas simulações, foram obtidas estimativas dos níveis de desconforto interno através da avaliação do *heat index* (índice de calor) e de conforto através da curva de duração da temperatura. Além disso, como parte do estudo, foram conduzidas análises estatísticas, incluindo a aplicação da regressão linear utilizando o método dos mínimos quadrados ordinários, a fim de modelar a relação entre a temperatura interna do edifício e os meses do ano de 2022. Os resultados obtidos revelaram que os valores do *heat index* interno permaneceram dentro de limites considerados seguros para a saúde

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS



22/11 | evento
23/11 | 100% online
24/11 | e gratuito

humana ao longo do período analisado. Adicionalmente, constatou-se que a temperatura interna do edifício esteve em situação de bem-estar térmico durante aproximadamente 58,33% do ano, o que indica um desempenho aceitável em termos de conforto térmico. Esses resultados contribuem para o avanço das práticas sustentáveis no setor de construção civil, visto que fornecem subsídios para a concepção de projetos arquitetônicos mais eficientes do ponto de vista energético e menos agressivos ao meio ambiente. A utilização de *softwares* de simulação termoenergética e a comparação dos dados de saída com normas reconhecidas internacionalmente demonstram-se ferramentas eficazes na promoção de uma arquitetura bioclimática.

Palavras-chave: ISO 7730, *Heat Index*, Conforto Térmico, Materiais Alternativos.

1. INTRODUÇÃO

A viabilidade da utilização de materiais alternativos tem sido frequentemente estudada como opção para arquitetura bioclimática e eficiente. O projeto em questão, aborda a avaliação termoenergética de uma estrutura projetada com materiais alternativos submetida ao clima da cidade brasileira de Palmas-TO. Através de tratamento estatístico e modelagem computacional com os *softwares SketchUp, OpenStudio e EnergyPlus*, estimou-se os níveis de conforto térmico pela avaliação das cargas internas de temperatura e *heat index* no projeto construtivo. Com base na norma ISO 7730 [1], analisou-se o comportamento dessas cargas durante um ano (2022) e utilizou-se os seguintes materiais alternativos: argamassa celular, composta por cimento, água, agente espumante e areia; brita (pedras de granulometria variada); janela de *float glass* (vidro plano); lã de vidro (isolante térmico); piso de gesso acartonado (revestimento); porta WPC (*Wood-Plastic Composite*); reboco de argamassa de gesso (revestimento de parede); telha de fibra de celulose reciclada e betume (derivado do petróleo) e o tijolo COB, feito de barro cru.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Simulações Termoenergéticas e Análises Estatísticas

Uma abordagem amplamente utilizada para avaliar o comportamento térmico e energético de projetos construtivos é a modelagem computacional. Para essa finalidade, são empregadas diversas ferramentas, entre elas o *EnergyPlus, OpenStudio e SketchUp*. Os três *softwares* podem trabalhar em conjunto para viabilizar análises detalhadas. As simulações podem ser realizadas em estruturas construtivas tradicionais

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS



22/11 | evento
23/11 | 100% online
24/11 | e gratuito

[2,3] ou alternativas [4]. Podendo analisar o comportamento das cargas internas por tratamento estatístico de arquivos climáticos de vários bancos de dados [5], por regressão linear simples [6] ou método dos mínimos quadrados. As pesquisas nesse campo, devem adotar parâmetros de temperatura interna ideal de algum regulamento vigente. A norma ISO 7730 tem sido utilizada em análises de desempenho térmico estrutural [7] e adota a faixa de conforto entre 20 – 26 °C.

3. METODOLOGIA

Inicia-se a simulação a partir da modelagem 3D no *SketchUp*, em seguida, este modelo é exportado para o *OpenStudio*, nele, são inseridos todos os dados de entrada da simulação. A análise considerou o ano de 2022 e o arquivo climático da base TMY para a região de Palmas-TO. Modelou-se uma estrutura com 100 m² (Figura 1). A Tabela 1 elenca a espessura (h [m]), condutividade térmica (λ [W/mK]), massa específica (ρ [kg/m³]) e ao calor específico (c [J/kgK]) dos materiais alternativos utilizados.

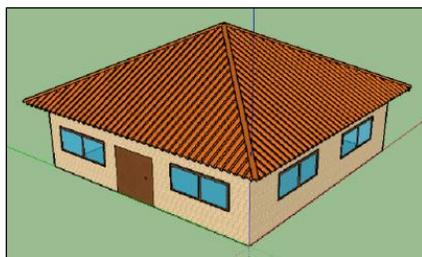


Figura 1. Modelo arquitetônico fabricado no *SketchUp*.

Tabela 1. Propriedades termofísicas dos materiais alternativos utilizados.

Material	h [m]	λ (W/mK)	ρ (kg/m ³)	c (J/kgK)
Argamassa celular [8]	-	0,400	600,000	1000,000
Brita [8]	0,048	0,700	1000,000	800,000
Lã de vidro [8]	-	0,045	10,0000	700,000
Laje de concreto leve [8]	0,200	0,580	1850,000	962,964
Reboco de argamassa de gesso [8]	-	0,700	1200,000	840,000
Piso de Gesso Acartonado [9]	0,013	0,350	750,000	840,000
Janela de <i>Float Glass</i> [10]	0,009	0,200	250,000	1848,96
Porta de WPC [11]	0,009	0,200	250,000	1848,96
Telha de fibra de celulose e betume [12]	0,003	0,230	1075,000	1460,000
Tijolo COB [13]	0,297	0,550	1800,000	1110,000



O *heat index* foi determinado a partir da Equação 1, onde T é a temperatura e R a umidade relativa. Ele deve ser inferior a 27 °C para não refletir nenhum risco à saúde devido a exposição prolongada [14].

$$HI = -42,379 + 2,04901523 \times T + 10,14333127 \times R - 6,83783 \times 10^{-3} \times T^2 - 5,481717 \times 10^{-2} \times R^2 + 1,22874 \times 10^{-3} \times T^2 \times R + 8,5282 \times 10^{-4} \times T \times R^2 - 1,99 \times 10^{-6} \times T^2 \times R^2 \quad (1)$$

A regressão linear através do método dos mínimos quadrados ordinários (MMQO) é obtida pela Equação 2, onde n é o número de pontos do conjunto de dados; S é a soma dos resíduos quadrados e a e b são coeficientes da equação. Calcula-se as derivadas parciais de S em relação aos parâmetros a e b .

$$S = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - ax_i - b)^2 \quad (2)$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 2a mostra que a temperatura interna variou de 25,22 a 26,66 °C e o *heat index* de 21,06 a 25,88 °C. Enquanto a Figura 2b apresenta a equação de ajuste obtida pela regressão linear com o MMQO.

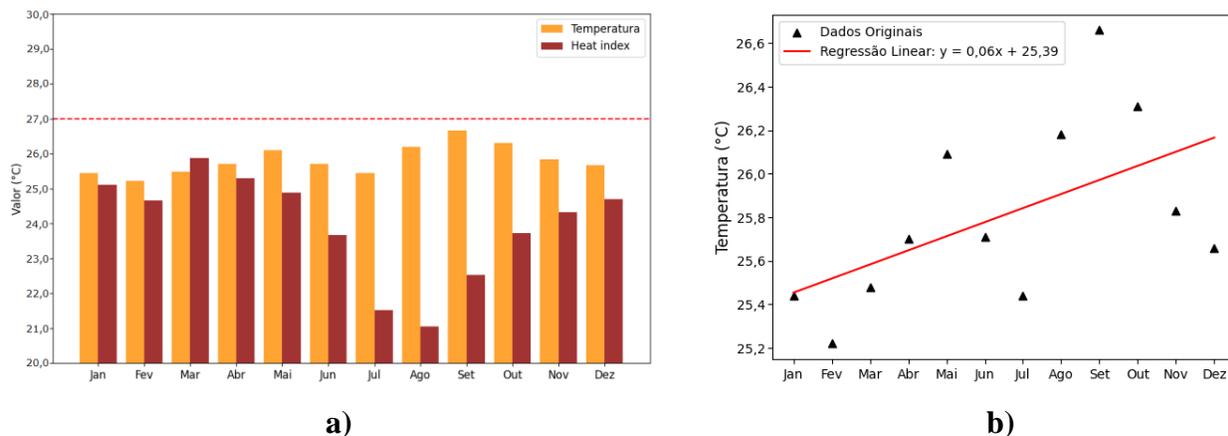


Figura 2. Projeto alternativo: a) temperatura e *heat index*; b) regressão linear para a temperatura interna.

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS



22/11 evento
23/11 100% online
24/11 e gratuito

Conforme exibido na Figura 3, a temperatura interna esteve de acordo com os parâmetros da ISO 7730 de início de junho até dezembro, representando aproximadamente 58,33% do período anual.

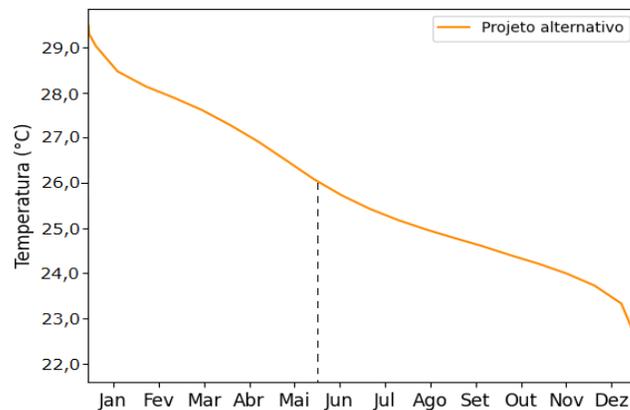


Figura 3. Curva de duração da temperatura para o projeto alternativo.

5. CONCLUSÃO

O projeto alternativo apresentou bom desempenho térmico considerando os parâmetros da ISO 7730, com estimativas de conforto térmico em mais de um semestre do ano de 2022. Durante esse período, existe uma menor necessidade de instalação de sistemas de climatização ativa. Ao longo do ano, o *heat index* esteve abaixo de 27 °C que é a temperatura crítica, proporcionando um ambiente seguro. Esses resultados destacam a viabilidade de utilização dos materiais alternativos na construção de estruturas mais eficientes e sustentáveis.

REFERÊNCIAS

- [1] ISO 7730, 1994. Moderate thermal environments -- Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. International Organization for Standardization
- [2] Sousa, D. L. P. (2022). Análise do Desempenho Térmico de um Edifício utilizando o Software EnergyPlus. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Pará, Ananindeua, PA, Brasil.
- [3] Nobre, J. C. A. (2022). Análise e Simulação Numérica sobre Desempenho Térmico Estrutural em um Auditório Utilizando o Software EnergyPlus. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Pará, Ananindeua, PA, Brasil.

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS



22/11 | evento
23/11 | 100% online
24/11 | e gratuito

- [4] Borges, L. S. (2022). Simulação Numérica da Temperatura do Ar em um Edifício com Materiais Construtivos Alternativos. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Pará, Ananindeua, PA, Brasil.
- [5] Sousa, D. L. P., Nobre, J. C. A., Borges, L. S., Andrade, L. C. F., Vaz, J. R. P., Vale, S. B. do, & Sousa, D. J. L. (2023). Utilização dos Arquivos Climáticos IWEC, SWERA, INMET, TRY e TMY da Cidade de Belém-PA para Análise de Desempenho Térmico Estrutural. *The Journal of Engineering and Exact Sciences*, 9(3), 15554–01e. <https://doi.org/10.18540/jcecvl9iss3pp15554-01e>
- [6] Borges, L. S., Nobre, J. C. A., Sousa, D. L. P., & Andrade, L. C. F. (2023). Construção de um novo perfil de radiação solar e temperatura do ar a partir de padrões climáticos conhecidos para a cidade de Belém-PA. *The Journal of Engineering and Exact Sciences*, 9(2), 15352–01e. <https://doi.org/10.18540/jcecvl9iss2pp15352-01e>
- [7] Barone, G., Buonomano, A., Forzano, C., Giuzio, G. F., Palombo, A., & Russo, G. (2023). A new thermal comfort model based on physiological parameters for the smart design and control of energy-efficient HVAC systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 173, 113015.
- [8] Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT. Projeto 02:135.07-001:2003. 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 – Comitê Brasileiro de Construção Civil, CE-02:135.07 – Comissão de Estudo de Desempenho Térmico de Edificações. Rio de Janeiro, 2003.
- [9] Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT. (2008). NBR 15220-2: Desempenho térmico de edificações. Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro.
- [10] VENGATESAN, K. (2017). Windows Film to Glass: Numerical simulation software for avoiding thermal stress (Doctoral dissertation, MS Thesis, IST Tecnico Lisboa).
- [11] CASTRO, J. F. (2010). Diseño de un molde para el formado continuo del perfil utilizado en la elaboración de tablas de madera plástica en la empresa PLASMACO.
- [12] JARDIM, Patrícia. R. S. A. (2011). Desempenho térmico de coberturas: um estudo comparativo entre as telhas de material reciclado, de fibra e betume, fibrocimento e cerâmica. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
- [13] MENDONÇA, A. L. Ana; ALMEIDA, D. G. (2019). Análise de Desempenho Térmico de Bioconstrução em COB. Universidade de Rio Verde, Goiás, 2019.
- [14] National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). 2010. Jackson, KY.