XVIII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
XIV ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
AMBIENTE CONSTRUÍDO E USUÁRIO: PERSPECTIVAS LATINO-AMERICANAS

Acoplamento do ENVI-met ao EnergyPlus para analisar as condições térmicas de habitações de interesse social durante uma onda de calor em São Carlos (SP)

Acoplamiento de ENVI-met y EnergyPlus para analizar las condiciones térmicas de viviendas sociales durante una ola de calor en São Carlos (SP)

Coupling of ENVI-met and EnergyPlus to analyze the thermal conditions of social housing during a heatwave in São Carlos (SP)

Clima e Planejamento Urbano / Clima y Planificación Urbana / *Climate and Urban Planning*

Apolinário, Bruna de Souza

Mestranda em Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, Brasil, brunasapolinario@gmail.com

Masiero, Érico

Doutor em Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, Brasil, erico@ufscar.br

Resumo

A urbanização, assim como as ondas de calor, influencia as temperaturas internas das habitações. Por isso, o objetivo deste artigo é analisar o impacto do acoplamento de dados microclimáticos em simulações termoenergéticas e as condições térmicas de habitações de interesse social durante uma onda de calor. Para isso, foi empregado o método de encadeamento, com a coleta de dados de temperatura e umidade do ar durante uma onda de calor em São Carlos-SP. A partir desses dados, foi configurada uma simulação no ENVI-met, cujos resultados foram acoplados ao EnergyPlus, por meio do *software* BCVTB. Os resultados indicaram que as horas ocupadas apresentaram riscos de problemas de saúde para os moradores, além de um aumento na demanda energética de 16,39 kWh. Constatou-se a importância e viabilidade do acoplamento de dados microclimáticos para o estudo de configurações urbanas capazes de minimizar o estresse térmico nos espaços externos e internos das edificações.
Palavras-chave: Morfologia urbana. Ondas de calor. Simulação de onda de calor. Estresse térmico. Habitações de interesse social.

Resumen

La urbanización, al igual que las olas de calor, influye en las temperaturas interiores de las viviendas. Por ello, este artículo analiza el impacto del acoplamiento de datos microclimáticos en simulaciones termoenergéticas y las condiciones térmicas de viviendas de interés social durante una ola de calor. Se empleó el método de encadenamiento, con la recolección de datos de temperatura y humedad del aire durante una ola de calor en São Carlos, SP. A partir de estos datos, se configuró una simulación en ENVI-met, cuyos resultados se acoplaron a EnergyPlus mediante el software BCVTB. Los resultados indicaron que las horas ocupadas presentaron riesgos para la salud de los residentes, además de un aumento en la demanda energética de 16,39 kWh. Se constató la importancia y viabilidad del acoplamiento de datos microclimáticos para estudiar configuraciones urbanas capaces de minimizar el estrés térmico en espacios exteriores e interiores.
Palabras clave: Morfología urbana. Olas de calor. Simulación de ola de calor. *Estrés térmico. Viviendas de interés social.*

Abstract

Urbanization, like heat waves, influences the indoor temperatures of dwellings. Therefore, the aim of this article is to analyze the impact of coupling microclimatic data in thermoenergetic simulations and the thermal conditions of social housing during a heat wave. For this purpose, a chaining method was employed, with the collection of air temperature and humidity data during a heat wave in São Carlos, SP. Based on these data, a simulation was configured in ENVI-met, and its results were coupled with EnergyPlus using the BCVTB software. The results indicated that occupied hours presented health risk conditions for the residents, in addition to an increase in energy demand of 16.39 kWh. The importance and feasibility of coupling microclimatic data for studying urban configurations capable of minimizing thermal stress in both outdoor and indoor spaces of buildings was confirmed.
Keywords: Urban morphology. Heatwaves. Heat wave simulation. *Thermal stress. Social housing.*

Introdução

A urbanização contribui para o aquecimento das superfícies, a formação de ilhas de calor e a intensificação de eventos climáticos extremos (*Watts et al*., 2020). O estresse térmico durante ondas de calor está associado ao aumento da mortalidade por doenças circulatórias, respiratórias e cerebrovasculares (Macfarlane, 1978; Geirinhas *et al*., 2020).

Devido à influência do espaço urbano na temperatura interna das edificações, a urbanização e as ondas de calor agravam o estresse térmico, os problemas de saúde e o consumo energético (Biardeau *et al.*, 2020). Embora essa relação seja reconhecida, poucos estudos abordam o impacto da morfologia urbana nas condições térmicas internas (Li *et al*., 2022; Shareef, 2021; Zheng; Li, 2022). Isso ocorre porque urbanistas tendem a focar nos ambientes externos, enquanto arquitetos priorizam os internos, ambos negligenciando o efeito da morfologia urbana sobre os ambientes internos (Zheng; Li, 2022).

Visando preencher essa lacuna, foram desenvolvidos alguns métodos de simulação, como o de encadeamento e o direto. No primeiro, os dados da simulação do ENVI-met são acoplados ao EnergyPlus, enquanto no segundo a simulação em ambos os *softwares* ocorre simultaneamente, com a troca de dados a cada *timestep* (Yang *et al.,* 2012). Alguns estudos utilizaram esses métodos para avaliar o impacto do Fator de Visão do Céu, do sombreamento urbano, das densidades, das verticalidades, da relação da área útil e das tipologias habitacionais nas condições térmicas de edificações (Li *et al.*, 2022; Natanian *et al.*, 2020; Natanian; Auer, 2020; Shareef, 2021; Zheng; Li, 2022). No entanto, ainda não há estudos sobre o impacto da morfologia urbana nas condições térmicas internas de habitações de interesse social no Brasil durante ondas de calor.

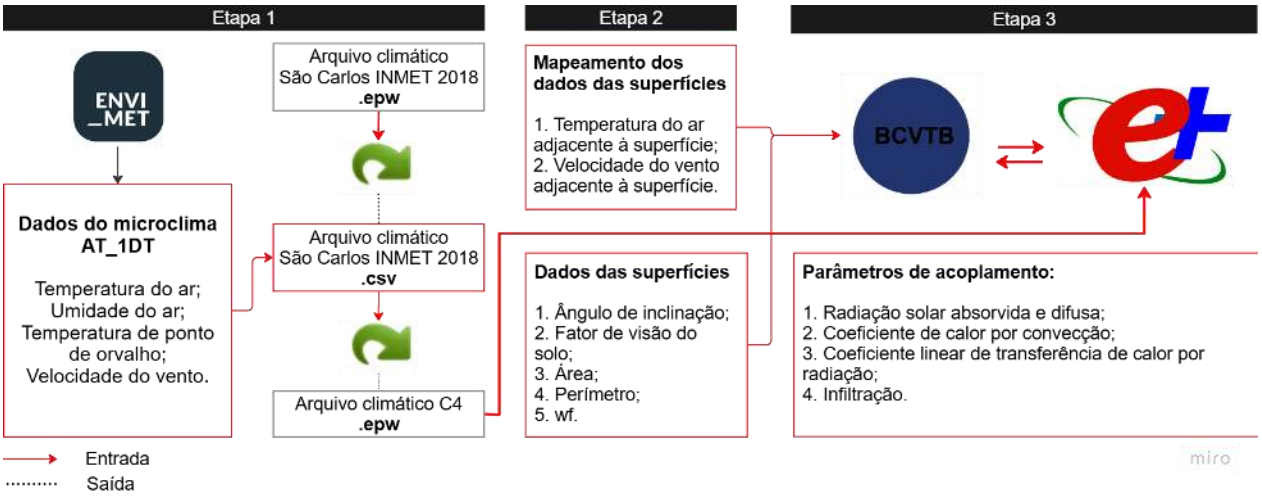
Com base nas questões apresentadas, este artigo tem como objetivo analisar o impacto do acoplamento de dados microclimáticos em simulações termoenergéticas e nas condições térmicas de habitações de interesse social durante uma onda de calor.

Método

O método utilizado para avaliar o impacto da morfologia urbana e ondas de calor no conforto térmico e consumo energético de habitações pode ser subdividido em quatro etapas: (1) extração

dos dados microclimáticos e edição do arquivo climático; (2) mapeamento dos dados do ENVI-met para o acoplamento; (3) acoplamento utilizando o *software* BCVTB; e (4) estudo de caso. Para o acoplamento do ENVI-met ao EnergyPlus, foi empregado o método de encadeamento descrito por Yang *et al.* (2012). Os procedimentos do acoplamento são apresentados na Figura 1.

Figura 1: Processo de acoplamento do ENVI-met ao EnergyPlus.



Fonte: Autores (2025).

Para realizar o acoplamento, é essencial compreender o funcionamento do EnergyPlus. As cargas internas de uma zona, conforme Yang *et al.* (2012), dependem do fluxo de calor convectivo e da transferência de calor devido à infiltração com o ar externo, os quais são influenciados pela interação entre as superfícies externas do edifício e o microclima urbano. Nesse contexto, o balanço de calor da superfície externa é obtido por meio da Equação 1.

$$q_{\propto sol} + q_{lwr} + q_{conv} - q_{ko} = 0 \quad (1)$$

Onde: $q_{\alpha sol}$ é o fluxo de calor de radiação direta e difusa absorvida; q_{LWR} é o fluxo líquido de radiação térmica de onda longa trocado com o ar e os arredores; q_{conv} é a troca do fluxo convectivo com o ar externo; q_{ko} é o fluxo de calor por condução na parede.

Para considerar as variáveis da Equação 1, são necessárias três considerações: (i) o arquivo climático e os fluxos de radiação direta e difusa absorvidos; (ii) o coeficiente de transferência de

calor convectivo e o coeficiente de transferência de calor linear por radiação; e (iii) a infiltração (Ramesh, 2018; Yang *et al.*, 2012). Para isso são necessárias as etapas descritas a seguir.

Extração dos dados microclimáticos e edição do arquivo climático

Inicialmente, os dados microclimáticos são extraídos do ENVI-met, sendo eles: velocidade e direção do vento, temperatura e umidade do ar, além da temperatura do ponto de orvalho, que é calculada a partir desses dados. As informações são coletadas nos *grids* ao redor da edificação, e a média é calculada na altura do centro da edificação para posterior inserção no arquivo climático (Ramesh, 2018; Yang *et al.*, 2012). Por fim, como esses dados são obtidos em alturas diferentes das utilizadas por estações meteorológicas, indica-se a altura de coleta no objeto "*SiteWeatherStation*" do EnergyPlus, a fim de possibilitar a conversão.

Mapeamento dos dados do ENVI-met para o acoplamento

Nesta etapa, identificam-se quais receptores do ENVI-met correspondem a cada superfície externa no EnergyPlus. Em seguida, são calculadas as médias da temperatura do ar e da velocidade do vento adjacentes a essas superfícies. Esses dados são inseridos no BCVTB para o acoplamento com o EnergyPlus, com valores fornecidos a cada *timestep* da simulação.

Acoplamento utilizando o *software* BCVTB

O acoplamento foi realizado utilizando o *software* BCVTB, desenvolvido pelo Laboratório Nacional Lawrence Berkeley, o qual emprega a interface do *software* Ptolemy II, e considerou quatro parâmetros: (i) radiação direta e difusa absorvidas; (ii) coeficiente de Transferência de Calor Convectivo; (iii) Coeficiente de Transferência de Calor linear por radiação; e (iv) Transferência de calor por infiltração. O acoplamento de cada um desses parâmetros é descrito a seguir.

(i) Radiação direta e difusa absorvidas

Neste passo são consideradas a radiação solar incidente, os efeitos do sombreamento e a refletância do solo. Em relação à radiação difusa e refletida e aos efeitos de sombreamento, os cálculos do EnergyPlus são mais precisos do que os do ENVI-met (Ramesh, 2018; Yang et al., 2012). Por isso, o entorno da edificação foi modelado no EnergyPlus para que esses cálculos

fossem realizados. Quanto à refletância do solo, a média das simulações do ENVI-met foi inserida no objeto "*Site:GroundReflectance"* do EnergyPlus.

(ii) Coeficiente de Transferência de Calor Convectivo

No EnergyPlus, o coeficiente de transferência de calor convectivo é calculado por meio da Equação 2 (Yang *et al.*, 2012).

$$Q_c = hc_{ext} - A(T_{surf} - T_{air}) \quad (2)$$

Onde: Q_c é a taxa de transferência de calor convectivo externo; hc_{ext} é o coeficiente de convecção externo; A é a área da superfície; T_{surf} é a temperatura da superfície; T_{air} é a temperatura externa do ar.

As correlações dessa equação só podem ser aplicadas quando a velocidade do vento é obtida a partir de estações meteorológicas (Ramesh, 2018; Yang *et al.*, 2012). Dessa forma, para calcular o CHTC, Ramesh (2018) e Yang *et al.* (2012) propõem a Equação 3.

$$hc_{ext} = 4 + 4v \quad (3)$$

Onde: h_{cext} é o CHTC; v é a velocidade do vento adjacente à superfície.

A partir da Equação 3, o CHTC é calculado para as superfícies e sobrescrito no EnergyPlus *utilizando* o objeto "*ExternalInterface:Actuator",* com o *actuator "Exterior Surface Convection Heat Transfer Coefficient*". A Equação 3 é aplicável para velocidades do vento entre 1 e 10 m/s. Para velocidades abaixo de 1 m/s, foi utilizado o método TARP, conforme recomendado por Yang *et al.* (2012).

(iii) Coeficiente de Transferência de Calor linear por radiação

No EnergyPlus, o coeficiente de transferência de calor linear por radiação é obtido por meio da Equação 4 (Ramesh, 2018; Yang *et al.*, 2012).

$$h_{r,air} = \frac{\varepsilon\sigma F_{air(T^4_{Surface} - T^4_{air})}}{T_{surface} - T_{air}} \quad (4)$$

Onde: hr,air é o coeficiente de transferência de calor linear por radiação; ε é a emitância de ondas longas pela superfície; F_{air} é o fator de visão da superfície para a temperatura do ar; σ – Constante de Stefan-Boltzmann; $T_{surface}$ é a temperatura externa da superfície no ENVI-met; T_{air} é a temperatura externa do ar adjacente à superfície.

Para considerar os efeitos desse coeficiente, foi acoplada a temperatura do ar adjacente a cada superfície, simulada no ENVI-met, utilizando o *Actuator* "*Outdoor Air Drybulb Temperature*". Em seguida, visto que não há um *actuator* para substituir diretamente o hr no EnergyPlus, este foi somado ao CHTC, conforme recomendado por Yang *et al.* (2012).

(iv) Transferência de calor por infiltração

Para esta etapa, a temperatura externa do ar e a velocidade do vento adjacentes às superfícies devem ser acopladas. Para a velocidade do vento, foi utilizado o *actuator "Outdoor Air Wind Speed*".

Estudo de caso

Como estudo de caso, foi adotado um conjunto habitacional unifamiliar de interesse social, localizado na cidade de São Carlos/SP, que possui clima subtropical com inverno seco e verão quente (Cwa). Parte desse conjunto habitacional foi modelado no ENVI-met 5.6.1. Os materiais foram configurados seguindo as características dos utilizados no local, sendo eles: asfalto com albedo de 0,06, calçadas com albedo de 0,30 e solo com albedo de 0,24. A emissividade de todos os materiais foi de 0,90 e os valores de albedo foram definidos com base em Post et al. (2000) e Alves e Vecchia (2012).

Para a simulação urbana, foram coletados dados microclimáticos no local, no período de 19 de setembro a 4 de outubro de 2023, sendo que, entre os dias 19 e 27 de setembro, ocorreu uma onda de calor. Para a medição, foram instalados termo-higrômetros (Hobo/Pro V2 U23-001), a 3 metros de altura, em quatro pontos do conjunto, conforme demonstrado na Figura 2, com registros a cada 10 minutos. O dia adotado nas simulações foi 26 de setembro. Os dados climáticos inseridos no *full forcing* foram: velocidade e direção do vento da estação meteorológica A711; temperatura e umidade do ar da coletados no local; e dados de nuvens altas, médias e baixas da estação meteorológica 83726.

A habitação construída no local e simulada possui área útil de 38,76 m² (Figura 2). O sistema construtivo é composto por paredes de concreto (10 cm), lajes maciças de concreto (10 cm) e cobertura com telha cerâmica. A partir das propriedades dos materiais, obtidas da ABNT 02:135.07-001/2 (ABNT, 2005), foram calculadas as propriedades térmicas dos componentes, seguindo o procedimento da NBR 15220 (ABNT, 2022). As paredes apresentam transmitância térmica de 4,40 W/(m².K), capacidade térmica de 240 kj/m².K, atraso térmico de 2,69 h e absortância de 0,45. Já a cobertura apresenta transmitância térmica de 2,05 W/(m².K), capacidade térmica de 238,40 kj/m².K, atraso térmico de 6,58 h e absortância de 0,30.

Figura 2: (Esquerda) Planta baixa da habitação C4m. (Direita) Volumetria da modelagem.



Fonte: (à esquerda) Google Maps (2025), (ao centro e à direita) Autores (2025).

Para a análise das condições térmicas da habitação, as simulações foram configuradas com base nos parâmetros estabelecidos pela NBR 15575-1 (ABNT, 2021). Para o modelo sem ventilação natural, foi utilizado o módulo *Ideal Loads* do EnergyPlus. Já a simulação com ventilação natural empregou o módulo *Zone Airflow*, com os objetos *ZoneInfiltration:DesignFlowRate*, *ZoneVentilation:DesignFlowRate* e *Zone:CrossMixing*. Em todos esses campos foi adotada uma taxa de 1 renovação por hora, conforme recomendado pela referida norma.

Os padrões e condições de uso do sistema de condicionamento de ar, abertura de janelas, ocupação, taxa metabólica, cargas internas e características das esquadrias seguiram as diretrizes da NBR 15575-1 (ABNT, 2021). O contato da edificação com o foi modelado por meio do modelo *Finite Difference*, considerando um solo com condutividade de 1 W/m.K, densidade de 1800 kg/m³ e calor específico de 1200 j/kg.K.

Para avaliar o risco de sobreaquecimento, foi adotado o índice de calor, elaborado por Rothfusz (1990), que classifica as horas em aceitáveis, cuidado, cuidado extremo, perigo e perigo extremo.

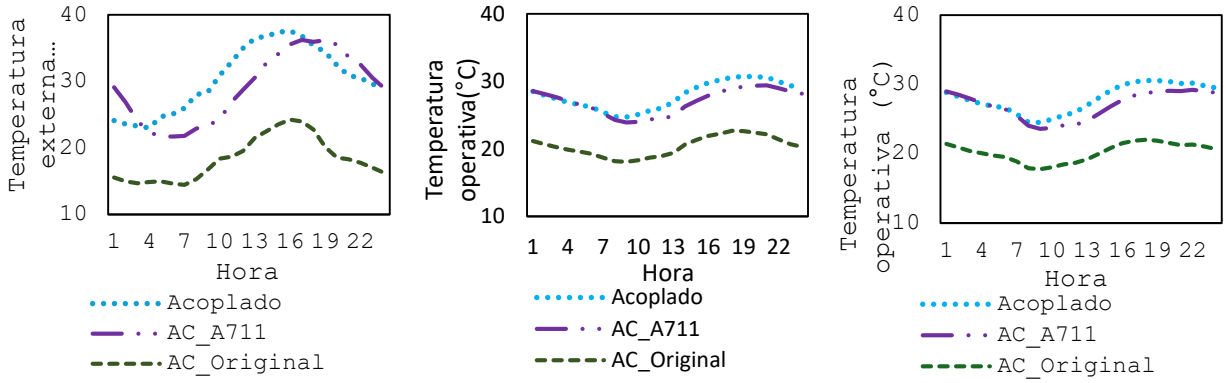
Resultados

Foram realizadas três simulações para avaliar o impacto da onda de calor e do acoplamento dos dados microclimáticos: (1) acoplamento via BCVTB; (2) utilizando apenas um arquivo climático editado com dados da estação meteorológica A711; e (3) com o arquivo climático original.

Temperatura operativa

Devido à onda de calor, o acoplamento dos dados microclimáticos resultou em um aumento significativo das temperaturas operativas (Figura 3). A estação meteorológica A711 registrou temperaturas do ar entre 21,70 °C e 36,23 °C (AC_A711), enquanto a média do entorno da edificação no ENVI-met, calibrada com dados medidos no local, variou entre 23,0 °C e 37,60 °C (Acoplado). Já no dia com o arquivo climático original, as temperaturas variaram de 14,46 °C a 24,28 °C (AC_Original).

Figura 3: Temperaturas operativas e externas. Externas (à esquerda), sala (centro), dormitório 1 (à direita).



Fonte: Autores (2025).

No modelo com acoplamento, as temperaturas operativas (TO) na sala variaram de 29,69 °C a 30,71 °C, com um aumento de até 8,03 °C em comparação ao AC_Original. A simulação da habitação com o AC_A711 resultou em valores próximos ao modelo com acoplamento das 1h às 7h. No entanto, no restante do dia, as TO foram reduzidas em até 2,07 °C (7,31%). No dormitório, o mesmo padrão foi observado, com o AC_A711 reduzindo a TO em até 2,31 °C (8,22%).

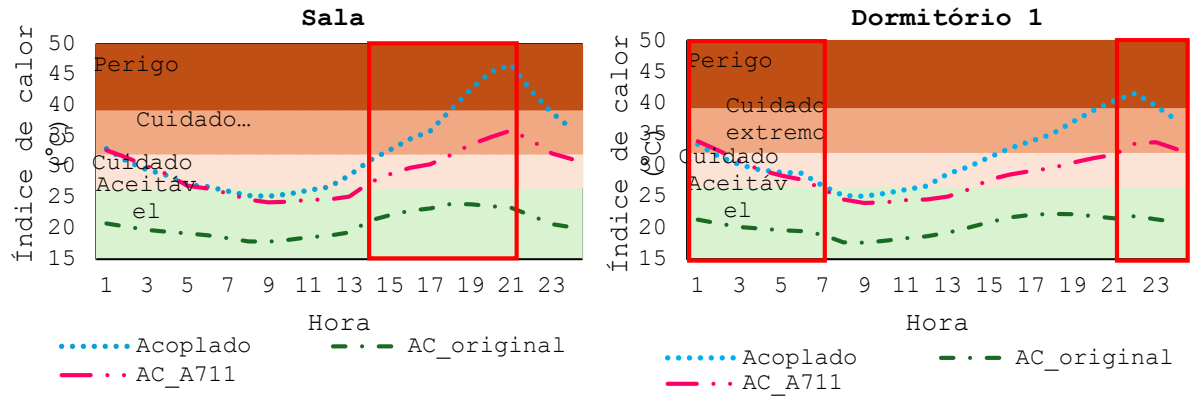
Esses dados, além dos efeitos da onda de calor, evidenciam o impacto da morfologia urbana nas temperaturas operativas. A utilização exclusiva dos dados medidos pela estação meteorológica

(AC_A711) resultou em condições térmicas internas mais amenas, comparadas ao cenário com o acoplamento dos dados microclimáticos do local.

Índice de calor

No índice de calor (IC), a simulação com acoplamento apresentou os maiores valores (Figura 4). Apenas a utilização do arquivo climático com dados da estação meteorológica A711 reduziu os índices em até 10,68 °C (22,68%). Em relação ao arquivo climático original, na sala, o aumento no IC foi de até 23,32 °C (100%) com o acoplamento e de 12,64 °C (54,23%) apenas com a utilização do AC_A711. No dormitório, o acréscimo com acoplamento foi de até 90,17%.

Figura 4: Índice de calor na sala, no dia de onda de calor.



Fonte: Autores (2025).

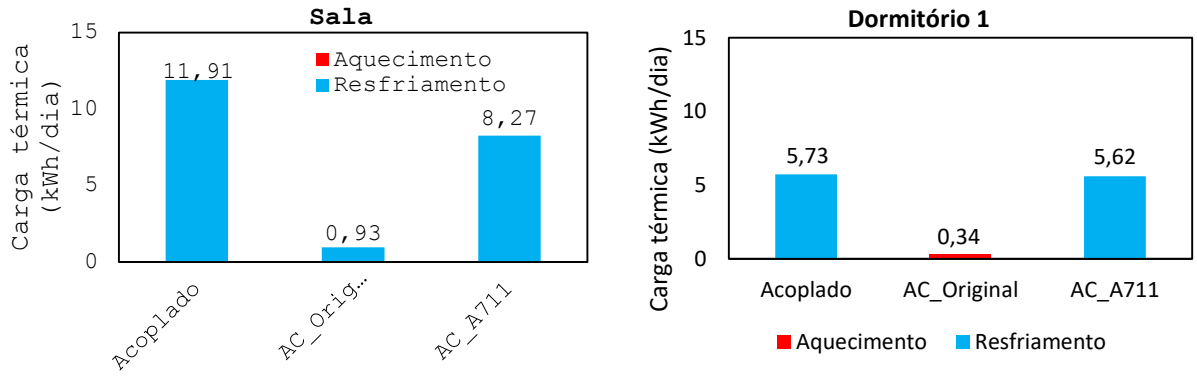
Durante as horas de ocupação, a utilização do arquivo climático original resultou em todas as horas classificadas como aceitáveis. Já no cenário com acoplamento, as horas variaram entre “cuidado”, “cuidado extremo” e “perigo”, enquanto no AC_A711 não ocorreram horas em “perigo”. Esses índices demonstram as condições térmicas críticas da habitação durante a onda de calor. As horas classificadas como “cuidado” indicam possível fadiga, as de “cuidado extremo” a possibilidade de ocorrer insolação, cãibras de calor ou esgotamento, e as horas classificadas como “perigo” que cãibras de calor e esgotamento são prováveis, com insolação possível.

Os resultados reforçam a importância de incorporar dados microclimáticos nas simulações. Quando a influência da morfologia urbana é desconsiderada, as condições térmicas aparentam ser mais favoráveis do que realmente são. O estresse térmico aumentou durante a onda de calor, o que, segundo Macfarlane (1978) e Geirinhas *et al*. (2020), está associado ao aumento da mortalidade por doenças circulatórias, respiratórias e cerebrovasculares.

Consumo energético

Em relação ao consumo energético (Figura 5), as maiores cargas térmicas ocorreram na simulação com acoplamento, com um aumento de 10,98 kWh na sala e de 5,39 kWh no dormitório, em comparação ao esperado para a época do ano. Apenas a utilização do AC_A711 resultou em menor carga térmica, evidenciando o impacto do acoplamento microclimático no EnergyPlus e o alto consumo energético durante ondas de calor, conforme citado por Biardeau *et al.* (2020).

Figura 5: Consumo energético no dia de onda de calor.



Fonte: Autores (2025).

Conclusões

O presente artigo teve como objetivo analisar o impacto do acoplamento de dados microclimáticos em simulações termoenergéticas, bem como as condições térmicas de habitações de interesse social durante uma onda de calor.

Os resultados do acoplamento evidenciaram as condições térmicas críticas da habitação durante a onda de calor. As horas ocupadas indicaram riscos potenciais à saúde dos moradores, como insolação, cãibras de calor e esgotamento. Além disso, o consumo energético total aumentou em 16,39 kWh/dia em comparação ao cenário baseado no arquivo climático original. A ausência da consideração da morfologia urbana nas simulações resultou em uma subestimação das condições térmicas reais e do consumo energético, sugerindo um ambiente mais confortável do que o verificado com o acoplamento.

Os dados também confirmaram a influência significativa do microclima e da morfologia urbana nas condições térmicas das edificações. Nesse sentido, destaca-se tanto a importância quanto a viabilidade do método de acoplamento para a análise do impacto de diferentes configurações

urbanas. Essa abordagem contribui para o desenvolvimento de cidades mais resilientes, com ambientes urbanos capazes de oferecer um maior conforto térmico tanto nos espaços externos quanto no interior das edificações, visando a saúde e o bem-estar da população.

Dessa forma, este artigo buscou apresentar o método adotado previamente para avaliar o efeito de tipologias habitacionais e da altura edificada nas condições térmicas externas e internas em habitações de interesse social. Como desdobramentos, sugere-se que estudos explorem a influência de outros índices, como os Fatores de Visão do Céu e os Coeficientes de Ocupação, a fim de embasar a aplicação de índices alinhados ao clima no planejamento urbano.

Referências

ALVES, E. D. L.; VECCHIA, F. A. S. Influência de diferentes superfícies na temperatura e no fluxo de energia: um ensaio experimental. **Revista Ambiência**, vol. 8, p. 101–111, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2:** Desempenho térmico de edificações - Parte 2: Componentes e elementos construtivos das edificações — Resistência e transmitância térmica – Métodos de cálculo. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1:** Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto 02:135.07-001/2:** 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: ABNT, 2003.

BIARDEAU, L. T.; DAVIS, L. W.; GERTLER, P.; WOLFRAM, C. Heat exposure and global air conditioning. **Nature Sustainability**, v. 3, n. 1, p. 25–28, 2020.

GEIRINHAS, J. L.; RUSSO, A.; LIBONATI, R.; TRIGO, R. M.; CASTRO, L. C. O.; PERES, L. F.; MAGALHÃES, M. de A. F. M.; NUNES, B. Heat-related mortality at the beginning of the twenty-first century in Rio de Janeiro, Brazil. **International journal of biometeorology**, v. 64, p. 1319-1332, 2020.

LI, J.; ZHENG, B.; BEDRA, K. B.; Li, Z.; CHEN, X. Effects of residential building height, density, and floor area ratios on indoor thermal environment in Singapore**. Journal of Environmental Management**, v. 313, p. 114976, 2022.

MACFARLANE, A. Daily mortality and environment in English conurbations: II. Deaths during summer hot spells in Greater London. **Environmental Research**, v. 15, n. 3, p. 332-341, 1978.

NATANIAN, J.; AUER, T. Beyond nearly zero energy urban design: A holistic microclimatic energy and environmental quality evaluation workflow. **Sustainable Cities and Society**, v. 56, p. 102094, 2020.

NATANIAN, J.; KASTNER, P.; DOGAN, T.; AUER, T. From energy performative to livable Mediterranean cities: An annual outdoor thermal comfort and energy balance cross-climatic typological study. **Energy and Buildings**, v. 224, p. 110283, 2020.

POST, D. F.; FIMBRES, A.; MATTHIAS, A. D.; SANO, E. E.; ACCIOLY, L.; BATCHILY, A. K.; FERREIRA, L.G. Predicting Soil Albedo from Soil Color and Spectral Reflectance Data. **Soil Science Society of America Journal,** vol. 64, p. 1027–1034, 2000.

RAMESH, S. **Urban energy information modeling: a framework to quantify the thermodynamic interactions between the natural and the built environment that affect building energy consumption**. Orientador: Khee Poh Lam. 2018. 176f. Tese (Doutorado em arquitetura) – Escola de Arquitetura, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, 2018.

ROTHFUSZ, L. P. The heat index equation (or, more than you ever wanted to know about heat index). National Oceanic and Atmospheric Administration, National Weather Service, Office of Meteorology, **Fort Worth, Texas: National Oceanic and Atmospheric Administration, National Weather Service, Office of Meteorology**, v. 9023, p. 640, 1990.

SHAREEF, S. The impact of urban morphology and building's height diversity on energy consumption at urban scale. The case study of Dubai. **Building and Environment**, v. 194, p. 107675, 2021.

WATTS, N. *et al*. The 2020 report of the Lancet Countdown on health and climate change: responding to converging crises. **The Lancet**, v. 397, p. 129-170, 2021.

YANG, X.; ZHAO, L.; BRUSE, M.; MENG, Q. An integrated simulation method for building energy performance assessment in urban environments. **Energy and Buildings**, v. 54, p. 243–251, 2012.

ZHENG, B.; LI, J. Evaluating the Annual Effect of the Sky View Factor on the Indoor Thermal Environment of Residential Buildings by Envi-met. **Buildings**, v. 12, p. 787, 2022.