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

Análise microclimática em condições de ondas de calor: aplicação do Fator de Excesso de Calor na cidade de São Paulo.

Análisis microclimático en condiciones de ondas de calor: aplicación del Factor de Exceso de Calor en la ciudad de São Paulo.

microclimatic analysis under heatwave conditions: application of the Excess Heat Factor in São Paulo city.

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

Liguori, Iara Nogueira
Doutoranda, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, iara.liguori@usp.br.

Ramos, Ana Carolina Lima Salerno
Graduanda, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, ana_salerno@usp.br.

Monteiro, Leonardo Marques
Doutor, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, leo4mm@usp.br.

Resumo

As mudanças climáticas estão diretamente relacionadas ao aumento de eventos climáticos extremos. Dentre esses fenômenos, as ondas de calor destacam-se como particularmente perigosas, causando impactos profundos no meio ambiente, nos ecossistemas e nas sociedades. Dessa forma, o objetivo desse artigo é verificar a ocorrência de onda de calor em espaços urbanos abertos na cidade de São Paulo, identificando o grau de risco enfrentado. Com esse propósito, foram realizadas medições microclimáticas, seguidas da aplicação dos índices de Fator de Excesso de Calor (EHF) e de Temperatura Equivalente Percebida (TEP) para a caracterização e classificação da onda de calor. A partir da análise dos resultados constatou-se a ocorrência de duas ondas de calor, ambas com elevado grau de severidade, representando um elevado risco à população. Ademais, os valores de EHF calculados para a estação meteorológica foram inferiores aos obtidos nas medições *in loco*, evidenciando a intensificação do fenômeno nas áreas urbanizadas.

Palavras-chave: Mudanças climáticas. Onda de calor. Medições microclimáticas. Fator de Excesso de Calor. Temperatura Equivalente Percebida.

Resumen

El cambio climático está directamente relacionado con el aumento de eventos climáticos extremos. Entre estos fenómenos, las olas de calor se destacan como particularmente peligrosas, causando impactos profundos en el medio ambiente, los ecosistemas y las sociedades. De esta manera, el objetivo de este artículo es verificar la ocurrencia de olas de calor en espacios urbanos abiertos en la ciudad de São Paulo, identificando el grado de riesgo enfrentado. Con este propósito, se realizaron mediciones microclimáticas, seguidas de la aplicación de los índices de Factor de Exceso de Calor (EHF) y de Temperatura Equivalente Percibida (TEP) para la caracterización y clasificación de la ola de calor. A partir del análisis de los resultados, se constató la ocurrencia de dos olas de calor, ambas con un alto grado de severidad, representando un elevado riesgo para la población. Además, los valores de EHF calculados para la estación meteorológica fueron inferiores a los obtenidos en las mediciones in situ, evidenciando la intensificación del fenómeno en las áreas urbanizadas.

Palabras clave: Cambio climático. Ola de calor. Mediciones microclimáticas. Factor de Exceso de Calor. Temperatura Equivalente Percibida.

Abstract

Climate change is directly related to the increase in extreme weather events. Among these phenomena, heat waves stand out as particularly dangerous, causing profound impacts on the environment, ecosystems, and societies. Thus, the aim of this article is to verify the occurrence of heat waves in open urban spaces in the city of São Paulo, identifying the degree of risk faced. To achieve this, microclimatic measurements were carried out, followed by the application of the Excess Heat Factor (EHF) and Perceived Equivalent Temperature (PET) indices to characterize and classify the heat waves. The analysis of the results confirmed the occurrence of two heat waves, both with a high degree of severity, representing a significant risk to the population. Furthermore, the EHF values calculated for the meteorological station were lower than those obtained from in situ measurements, highlighting the intensification of the phenomenon in urbanized areas.

Keywords: Climate change. Heat wave. Microclimatic measurements. Excess Heat Factor. Perceived Equivalent Temperature.

1. Introdução

As mudanças climáticas, impulsionadas pelas emissões antropogênicas dos gases de efeito estufa, estão diretamente ligadas ao aumento das temperaturas globais. Segundo o relatório do IPCC (2023), a temperatura média global subiu 1,09 °C no período de 2011 a 2020, em comparação aos níveis pré-industriais. Ademais, os últimos dez anos destacaram-se como os mais quentes já registrados, com uma sequência de recordes sucessivos de temperatura (WMO, 2025). Além do aumento da temperatura, as mudanças climáticas afetam a variabilidade interna do sistema de interação Terra-atmosfera (FOUNDA *et al.*, 2022), além de influenciar os moduladores de eventos extremos, como o El Niño (VAGHEFI *et al.*, 2022). Por consequência, há uma maior frequência e intensidade dos fenômenos climáticos extremos em todo o mundo.

Dentre os fenômenos climáticos extremos, as ondas de calor destacam-se como particularmente perigosas, causando impactos profundos no meio ambiente, nos ecossistemas e nas sociedades (FOUNDA *et al.*, 2022). Além de suas consequências generalizadas, esses eventos representam um grave risco à saúde, contribuindo para o aumento de internações hospitalares relacionadas ao calor (AMOATEY *et al.*, 2025; LANGLOIS *et al.*, 2013), e elevando os índices de mortalidade entre as populações mais vulneráveis (ROYÉ *et al.*, 2020).

O fenômeno das ondas de calor possui uma categorização diversificada na comunidade científica, sendo geralmente definido como um período de clima anormal e sequencial de dias e noites excepcionalmente quentes. A estimativa das ondas de calor pode ser realizada por meio de métricas como intensidade, frequência e duração. Entre as variáveis utilizadas estão temperaturas máxima e mínima, temperatura aparente e umidade relativa (WILLIAMS *et al.*, 2011; OUZEAU *et al.*, 2016; FRICH *et al.*, 2002). A definição de dias com temperaturas atípicas é comumente derivada dos percentis, podendo de variar de 90° ao 98°, dependendo da abordagem adotada no estudo (PERKINS *et al.*, 2013; SCHOETTER *et al.*, 2015).

Entretanto, algumas métricas não utilizam os fatores aclimatação e duração da onda de calor, variáveis necessárias para avaliar os impactos do calor na percepção e saúde humana. Em vista disso, foi selecionado para o presente estudo o Fator de Excesso de Calor (EHF – *Excess Heat Factor*), que considera a aclimatação humana ao qualificar a temperatura média de três dias e o 95° percentil de longo prazo (NAIRN e FAWCETT, 2014).

Dessa forma, Khodayar *et al.* (2024) aplicam o método EHF e apresentam uma análise das características e evolução das ondas de calor, confirmando o aumento geral na frequência, intensidade, duração e extensão espacial dos fenômenos nos locais em estudo. Nairn *et al.* (2018) exibem resultados de fator de excesso térmico em conjunto com cálculos de severidade, picos de temperatura e frequência de ondas de calor na Austrália.

No contexto brasileiro, Bitencourt *et al.* (2016) analisaram a ocorrência de ondas de calor de uma série histórica (1961-2014), encontrando como principal resultado o aumento da frequência, duração e intensidade do fenômeno, ratificando o papel das mudanças climáticas no aumento das temperaturas. Oliveira *et al.* (2021) e Silva *et al.* (2022) avaliaram a ocorrência de ondas de calor em localidades brasileiras durante longos períodos observacionais, encontrando como resultados o aumento da frequência das ondas de calor nas últimas décadas e o prolongamento do fenômeno em regiões com maior taxa de ocupação do solo.

A partir da problemática apresentada, é objetivo deste artigo verificar a ocorrência de onda de calor em espaços abertos na cidade de São Paulo, identificando o grau de risco enfrentado.

2. Método

2.1. Fator de Excesso de Calor

O Fator de Excesso de Calor (EHF) é composto por dois subíndices: o índice de significância (EHI_{sig}), que mede a intensidade da onda de calor em relação aos padrões climáticos de longo prazo; e o índice de aclimatação (EHI_{acl}), que considera a aclimatação a partir das condições térmicas recentes (NAIRN e FAWCETT, 2014; OLIVEIRA *et al.*, 2022).

O EHI_{sig} considera a diferença entre as temperaturas médias diárias dos últimos três dias e o 95° percentil da temperatura média diária. Nesse contexto, uma onda de calor é confirmada quando o valor do EHI_{sig} é positivo, indicando que o período de três dias foi mais quente do que o 95° percentil das temperaturas médias diárias históricas para o mesmo período (CHAPMAN *et al.*, 2024). O índice é calculado conforme demonstrado na Equação 1 (NAIRN e FAWCETT, 2014).

$$EHI_{sig} = \frac{(T_i + T_{i+1} + T_{i+2})}{3} - T_{95} \qquad \text{(Eq. 1)}$$

O 95° percentil foi calculado a partir dos dados da estação meteorológica Mirante de Santana (A701) (INMET, 2024a), utilizando as temperaturas médias diárias referentes ao período da normal climatológica mais recente, de 1991 a 2020.

O EHI_{acl} representa a anomalia térmica ao comparar a temperatura média de uma janela de três dias com a média dos 30 dias anteriores, refletindo a capacidade de adaptação humana a temperaturas elevadas ao longo do tempo. Quando o índice de aclimatação é positivo, isso indica que os últimos três dias foram, em média, mais quentes do que os 30 dias anteriores, evidenciando uma falta de aclimatação às temperaturas mais altas recentemente experimentadas (CHAPMAN *et al.*, 2024). É descrito na Equação 2 (NAIRN e FAWCETT, 2014).

$$EHI_{acl} = \frac{(T_i+T_{i+1}+T_{i+2})}{3} - \frac{(T_{i-1}+\cdots+T_{i-30})}{30} \qquad \text{(Eq. 2)}$$

O EHF é definido como o produto desses dois índices, tendo como unidade de medida o (°C)², sendo apresentado na Equação 3 (NAIRN e FAWCETT, 2014).

$$EHF = EHI_{sig} * MAX(1, EHI_{acl}) \qquad \text{(Eq. 3)}$$

Além dos resultados de EHF, foi adotado o Índice de Severidade ($EHF_{SEVERITY}$), essencial para quantificar o grau de extrema intensidade de uma onda de calor em relação à climatologia local. Esse índice adimensional é baseado na teoria de valores extremos e é calculado pela normalização da intensidade diária do EHF em relação ao seu 85° percentil. O período de referência utilizado segue o mesmo adotado nas etapas anteriores, 1991 a 2020 (Equação 4) (NAIRN e FAWCETT, 2014; OLIVEIRA *et al.,* 2022).

$$EHF_{severity} = EHF \div EHF_{85} \qquad \text{(Eq. 4)}$$

2.2. Variáveis Microclimáticas

As variáveis consideradas são os valores de (I) temperatura do ar, (II) temperatura de globo, com posterior estimativa da temperatura radiante, (III) umidade relativa e (IV) velocidade do ar. A temperatura radiante média foi estimada conforme estabelecido pela norma ISO 7726 (1998). Segundo essa norma, em espaços urbanos abertos, a estimativa da temperatura radiante média (t_{rm}) deve ser realizada utilizando um globo de cor cinza médio cuja capacidade de absorção de

radiação é semelhante à do corpo humano. O cálculo, descrito na Equação 5, considera os dados de temperatura do ar (t_a), e de temperatura de globo (t_g).

$$t_{rm} = [(t_g + 273)^4 + 0{,}4 * 10^8 |t_g - t_a|^{1/4} * (t_g - t_a)]^{1/4} - 273 \quad \text{(Eq. 5)}$$

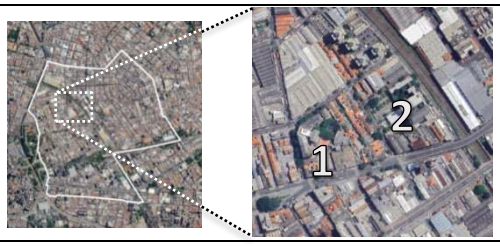
A partir dos dados coletados foi possível calcular a Temperatura Equivalente Percebida (TEP), proposta do Monteiro (2018). A TEP é composta por escalas interpretativas de sensação térmica com valores numericamente iguais aos da temperatura do ar do ambiente de referência. O cálculo é descrito conforme demonstrado na Equação 6, considerando a temperatura do ar (t_a), temperatura radiante média(t_{rm}), umidade relativa (UR) e velocidade do ar (V_{ar}).

$$TEP = -3{,}777 + 0{,}4828 * t_a + 0{,}5172 * t_{rm} + 0{,}0802 * UR - 2{,}322 * V_{ar} \quad \text{(Eq. 6)}$$

2.3. Seleção dos pontos de medição

As medições foram realizadas na cidade de São Paulo (23,5° S, 46,6° W e altitude aproximada de 750 m. O clima da cidade é subtropical úmido (Cwa), segundo a classificação de Köppen. A seleção dos pontos de medição foi baseada em uma pesquisa em andamento, na qual análises prévias por meio de sensoriamento remoto possibilitaram a classificação dos distritos da cidade de São Paulo (Liguori e Monteiro, 2024). Os locais representativos foram identificados a partir da avaliação das condições térmicas e urbanas. Para a investigação das ondas de calor, foi selecionado o distrito do Brás, devido aos elevados valores de temperatura de superfície observados em estudos anteriores. Os equipamentos foram instalados em duas escolas de ensino técnico do bairro, conforme ilustrado na composição fotográfica da Figura 1.

Figura 1: Composição fotográfica dos pontos de coleta de dados.



1. Escola SENAI Roberto Simonsen



2. Escola SENAI Francisco Matarazzo



Fonte: Elaborado pelos autores.

As coletas de dados foram realizadas de forma ininterrupta em dois períodos distintos: de 19/09 a 08/10/2023 e de 01/11 a 16/11/2023. Para as medições, foram utilizadas estações Campbell,

equipadas com sensor HMP45C 41003-5, acompanhado de protetor rugoso 41003-5 para aferição da temperatura do ar; globo cinza com sensor Model 108 para medição da umidade relativa; e anemômetros ultrassônicos WindSonic1 e WindSonic4 para determinação da velocidade do ar. Os equipamentos foram fornecidos pelo Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética (LABAUT), vinculado à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo e de Design (FAUUSP). Os dados obtidos foram comparados com as normais climatológicas da cidade de São Paulo, estação meteorológica Mirante de Santana (A701) (INMET, 2024a).

3. Resultados

As normais climatológicas, referentes ao período de 1991 a 2020, estão apresentadas na Tabela 1 (INMET, 2024b). Para a cidade de São Paulo, essas normais foram calculadas a partir dos dados da estação meteorológica do Mirante de Santana (A701) (INMET, 2024a).

Tabela 1: Normais climatológicas máximas, médias e mínimas para a cidade de São Paulo.

	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Anual
Temp. Máx. °C	28,6	29,0	28,0	26,6	23,4	22,9	22,9	24,5	25,2	26,5	26,9	28,3	26,1
Temp. Média °C	23,1	23,5	22,5	21,2	18,4	17,5	17,2	18,1	19,1	20,5	21,2	22,6	20,4
Temp. Mín. °C	19,4	19,6	18,9	17,5	14,7	13,5	12,8	13,3	14,9	16,5	17,3	18,7	16,4

Fonte: INMET (2024b).

Uma vez que as medições foram realizadas nos meses de setembro a novembro, pode-se aferir que de acordo com as normais climatológicas seriam esperadas temperaturas do ar máximas de 25,2°C a 26,9°C, médias de 19,1°C a 21,2°C e mínimas de 14,9°C a 17,3°C. Entretanto, os dados registrados tanto na estação meteorológica de referência quanto nos pontos de medição apresentaram diferenças significativas em relação às normais climatológicas (Tabela 2).

No primeiro período de medições, os valores de temperatura máxima registrados foram de 36,8°C e 38,1°C, sendo este último observado na Escola SENAI Francisco Matarazzo. As temperaturas média e mínima apresentaram pouca variação entre os locais de medição, com valores aproximados de 23°C e 15°C. No segundo período de medições, as máximas foram de 38,5°C e 39,4°C, com temperaturas médias similares entre os dois pontos, próximas de 24,6°C, e temperaturas mínimas também semelhantes, com valores em torno de 15°C.

Tabela 2: Comparação entre dados medidos, estação meteorológica de referência e as normais climatológicas.

		Escola SENAI Roberto Simonsen				
		Dado Medido	Estação Mirante (INMET)	Diferença entre as Estações	Diferença SENAI e Normais	Diferença Mirante (INMET) e Normais
19/09/23 a 08/10/23	Temp. Máx °C	36,8	35,8	+1	+10,3	+9,3
	Temp. Média °C	23,3	23,0	+0,3	+2,8	+2,5
	Temp. Mín °C	15,1	14,2	+0,9	-1,4	-2,3
01/11/23 a 16/11/23	Temp. Máx °C	38,5	37,2	+1,3	+11,6	+10,3
	Temp. Média °C	24,6	23,9	+0,7	+3,4	+2,7
	Temp. Mín °C	15,0	14,1	+0,9	-2,3	-3,2
		Escola SENAI Francisco Matarazzo				
		Dado Medido	Estação Mirante (INMET)	Diferença entre as Estações	Diferença SENAI e Normais	Diferença Mirante (INMET) e Normais
19/09/23 a 08/10/23	Temp. Máx °C	38,1	35,8	+2,3	+11,6	+9,3
	Temp. Média °C	23,6	23,0	+0,6	+3,1	+2,5
	Temp. Mín °C	14,8	14,2	+0,6	-1,7	-2,3
01/11/23 a 16/11/23	Temp. Máx °C	39,4	37,2	+2,2	+12,5	+10,3
	Temp. Média °C	24,7	23,9	+0,8	+3,5	+2,7
	Temp. Mín °C	15,5	14,1	+1,4	-1,8	-3,2

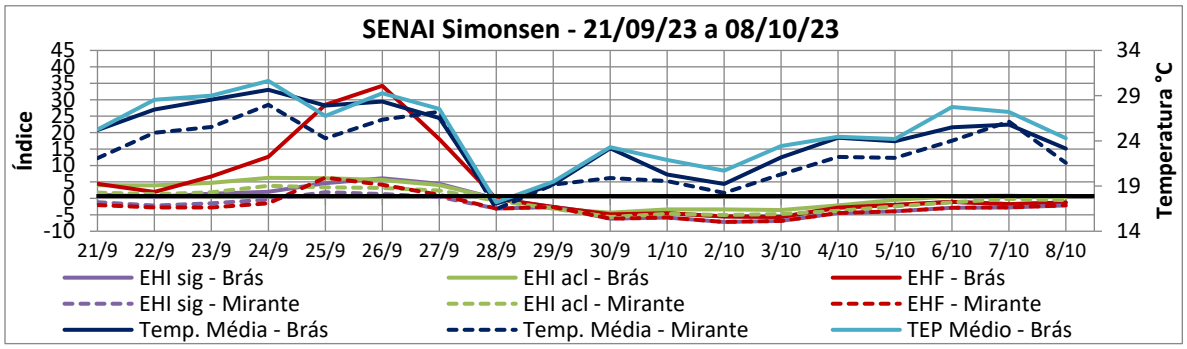
Fonte: Elaborado pelos autores.

Ao comparar os dados medidos com aqueles provenientes da estação do Mirante de Santana (INMET, 2024a) há uma diferença positiva de temperatura para a área urbanizada em todos os parâmetros térmicos, com maior valor respectivo ao segundo período de medição para a temperatura máxima, de 2,3°C. A comparação dos dados medidos com as normais revela aumentos térmicos de 10,3°C a 12,5°C para as temperaturas máximas e de 2,8°C a 3,5°C para as temperaturas médias. No entanto, as temperaturas mínimas apresentaram valores inferiores aos esperados pela normal climatológica, com uma diferença variando de -1,4°C a -2,3°C.

Nas Figuras 2 a 5 são apresentados os resultados de EHI_{sig}, EHI_{acl}, EHF e as temperaturas médias tanto para os dados coletados *in loco* quando para a estação meteorológica de referência. Ademais, foi calculado o TEP médio para a região urbana em análise. Para fins de visualização foi estabelecida uma demarcação dos índices de EHI_{sig}, EHI_{acl} e EHF no valor zero, demonstrando a presença do fenômeno onda de calor a partir desse marco (NAIRN e FAWCETT, 2014).

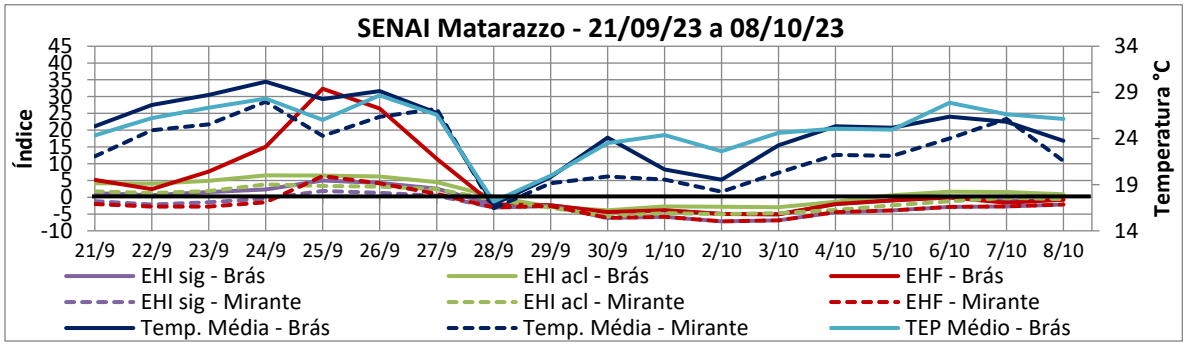
Ao analisar os resultados do primeiro período de medição, 19/09/23 a 08/10/23, é possível aferir a ocorrência de onda de calor durante a primeira semana da coleta de dados, com intensificação do fenômeno no decorrer dos dias. O pico do fenômeno foi registrado em 26/09/2023, quando o EHF atingiu 34,25(°C)² no ponto de medição do SENAI Simonsen e 32,33(°C)² no SENAI Matarazzo.

Figura 2: Resultados de EHI_{sig}, EHI_{acl}, EHF, temperaturas médias e TEP, SENAI Simonsen, 21/09/23 a 08/10/23.



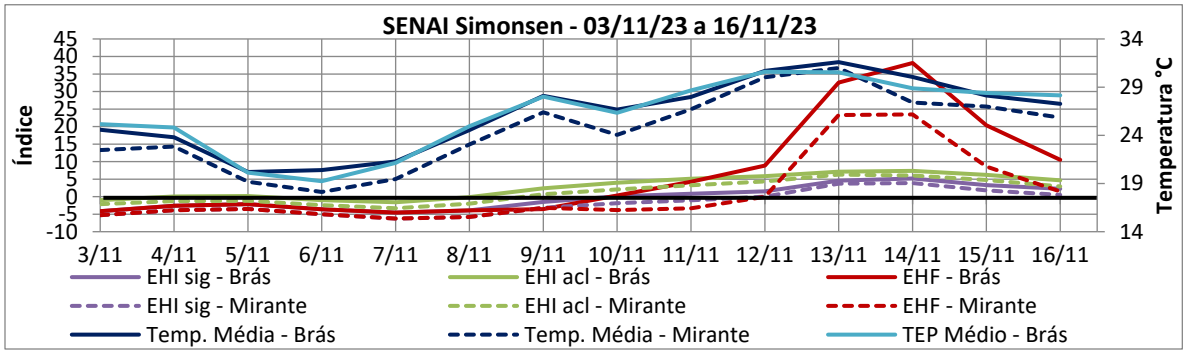
Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 3: Resultados de EHI_{sig}, EHI_{acl}, EHF, temperaturas médias e TEP, SENAI Matarazzo, 21/09/23 a 08/10/23.



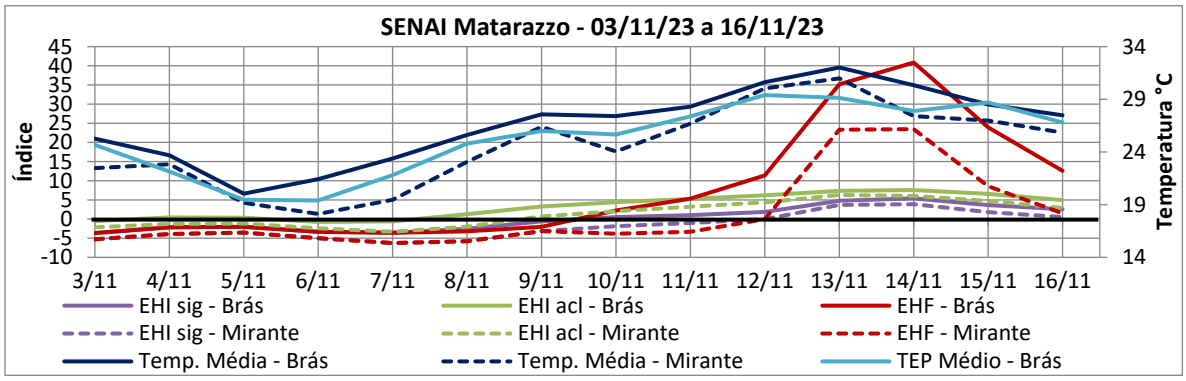
Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 4: Resultados de EHI_{sig}, EHI_{acl}, EHF, temperaturas médias e TEP, SENAI Simonsen, 03/11/23 a 16/11/23.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 5: Resultados de EHI_{sig}, EHI_{acl}, EHF, temperaturas médias e TEP, SENAI Matarazzo, 03/11/23 a 16/11/23.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Os resultados do EHF e da temperatura média da estação meteorológica de referência, Mirante de Santana, indicam valores mais amenos, com um EHF máximo de 6,31(°C)². Além disso, a diferença de temperatura entre os dados medidos e os da estação foi de aproximadamente 1,5°C. O TEP máximo experienciado no período foi de 41,2°C, condizente a uma situação de calor (MONTEIRO, 2018), para o TEP médio o máximo valor atingido foi de 30,6°C.

Os resultados do segundo período de medições, de 01/11 a 16/11/23, indicam a formação de uma onda de calor a partir de 10/11, com intensificação do fenômeno no dia 12/11. Nos dias 13/11 e 14/11 foram registrados os maiores valores de EHF, atingindo 32,55(°C)² e 38,15 (°C)² no SENAI Simonsen, e 35,20 (°C)² e 40,85 (°C)² no SENAI Matarazzo, caracterizando uma onda de calor ainda mais intensa quando comparada ao primeiro período de medições. O TEP médio máximo do período foi de 29,4°C e o TEP máximo alcançou 39,6°C.

A Tabela 3 apresenta os resultados de EHF e $EHF_{severity}$ para ambos os períodos, com dados correspondentes à estação meteorológica de referência (INMET, 2024a). A análise dos registros entre 21/09 e 08/10/23 confirma a ocorrência de onda de calor, com o valor máximo registrado do índice em 25/09. Ao comparar o EHF desse período com o 85° percentil do EHF calculado para 1991-2020, de 3,49 (°C)², verifica-se que a onda de calor que atingiu a cidade de São Paulo pode ser classificada como severa. No segundo período de medição os resultados são ainda mais expressivos, uma vez que o valor de EHF, registrado em 15/11, atingiu 23,5 (°C)², resultando em um grau de severidade de 6,7 (°C)² e caracterizando o fenômeno como uma onda de calor extrema (NAIRN e FAWCETT, 2014; OLIVEIRA *et al.,* 2022).

Tabela 3: Comparação entre os resultados de EHF e $EHF_{severity}$.

	21/9	22/9	23/9	24/9	25/9	26/9	27/9	28/9	29/9	30/9	1/10	2/10	3/10	4/10	5/10	6/10	7/10	8/10
EHF	-2,0	-2,8	-2,8	-1,5	**6,3**	**4,1**	**1,1**	-3,1	-2,6	-6,2	-5,9	-7,2	-6,9	-4,5	-3,9	-2,9	-2,8	-2,2
EHF_{Sev}	-0,6	-0,8	-0,8	-0,4	**1,8**	**1,2**	**0,3**	-0,9	-0,7	-1,8	-1,7	-2,1	-2,0	-1,3	-1,1	-0,8	-0,8	-0,6
	3/11	**4/11**	**5/11**	**6/11**	**7/11**	**8/11**	**9/11**	**10/11**	**12/11**	**13/11**	**14/11**	**15/11**	**16/11**					
EHF	-5,3	-3,9	-3,5	-5,0	-6,3	-5,8	-3,2	-3,8	-3,3	0,0	**23,3**	**23,5**	**8,6**					
EHF_{Sev}	-1,5	-1,1	-1,0	-1,4	-1,8	-1,7	-0,9	-1,1	-1,0	0,0	**6,6**	**6,7**	**2,5**					

Fonte: Elaborado pelos autores.

4. Conclusão

Este estudo teve como objetivo verificar a ocorrência de onda de calor em espaços urbanos abertos na cidade de São Paulo, identificando o grau de risco enfrentado. Com esse propósito, foram realizadas medições microclimáticas, seguidas da aplicação dos índices EHI_{sig}, EHI_{acl}, EHF e $EHF_{severity}$ para a caracterização e classificação do fenômeno, além de cálculo do TEP para verificação do conforto térmico. Ao analisar os resultados de EHF, constatou-se, além de uma elevada significância do fenômeno onda de calor e uma baixa aclimatação, a ocorrência de valores elevados do índice em ambos os períodos de medição. No primeiro período o EHF atingiu 34,25 $(°C)^2$ no ponto de medição do SENAI Simonsen e 32,33 $(°C)^2$ no SENAI Matarazzo. Já no segundo período os valores registrados foram de 38,15 $(°C)^2$ no SENAI Simonsen e 40,85 $(°C)^2$ no SENAI Matarazzo. Ao calcular o TEP para as áreas em análise, foi atingido um TEP máximo de 41,2°C durante o primeiro período de medição, e de 39,6°C durante o segundo período, ambas situações condizentes ao calor segundo a classificação proposta por Monteiro (2018). O TEP médio apresentou variações que acompanharam os dados medidos, com maiores registros durante os períodos de ondas de calor, atingindo valores próximos a 30°C. Nesse contexto, identificaram-se duas ondas de calor, cujos valores de EHF medidos foram superiores aos registrados na estação meteorológica de referência, evidenciando a intensificação desses eventos nas áreas urbanizadas. Os valores positivos de $EHF_{severity}$ indicam que ambos os eventos superaram o 85º percentil da intensidade do EHF em um período de 30 anos, evidenciando o elevado grau de risco ao qual a população esteve exposta. Ondas de calor como as registradas neste estudo estão diretamente associadas ao aumento de internações hospitalares por causas relacionadas ao calor, bem como ao crescimento da mortalidade entre as populações mais vulneráveis, como idosos e crianças (NAIRN, FAWCETT, 2014; OLIVEIRA et al., 2022; ROYÉ et al., 2020).

5. Agradecimento

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Brasil. Processo nº 2022/02552-0.

6. Bibliografia

AMOATEY, P.; TRANCOSO, R.; XU, Z.; DARSSAN, D.; OSBORNE, N. J.; PHUNG, D. Evaluating the association between heatwave vulnerability index and related deaths in Australia. **Environmental Impact Assessment Review**, vol. 112, no. August 2024, 2025.

BITENCOURT, D. P.; FUENTES, M. V.; MAIA, P. A.; AMORIM, F. T. Frequência, Duração, Abrangência Espacial e Intensidade das Ondas de Calor no Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, vol. 31, no. 4, 2016.

CHAPMAN, S.; SYKTUS, J.; TRANCOSO, R.; TOOMBS, N.; ECCLES, R. Projected changes in mean climate and extremes from downscaled high-resolution CMIP6 simulations in Australia. **Weather and Climate Extremes**, vol. 46, no. May, 2024.

FOUNDA, D.; KATAVOUTAS, G.; PIERROS, F.; MIHALOPOULOS, N. Centennial changes in heat waves characteristics in Athens (Greece) from multiple definitions based on climatic and bioclimatic indices. **Global and Planetary Change**, vol. 212, 2022.

FRICH, P.; ALEXANDER, L. V.; DELLA-MARTA, P.; GLEASON, B.; HAYLOCK, M.; TANK KLEIN, A. M. G.; PETERSON, T. Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. **Climate Research**, vol. 19, no. 3, 2002.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **Dados das Estações Meteorológicas.** Disponível em: < https://tempo.inmet.gov.br/TabelaEstacoes/A001>. Acesso em 28 abr. 2024a.

__. **Normais Climatológicas.** Disponível: < https://portal.inmet.gov.br/normais>.28 abr. 2024b.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. **IPCC Working Group Contribution to AR6.** 2021.

ISO 7726. **Iso 7726.** Ergonomics, v. 1998, 1998.

KHODAYAR PARDO, S.; PAREDES-FORTUNY, L. Uneven evolution of regional European summer heatwaves under climate change. **Weather and Climate Extremes**, vol. 43, 2024.

LANGLOIS, N.; HERBST, J.; MASON, K.; NAIRN, J.; BYARD, R. W. Using the Excess Heat Factor (EHF) to predict the risk of heat related deaths. **Journal of Forensic and Legal Medicine**, vol. 20, no. 5, p. 408–411, 2013.

LIGUORI, I. N ; **MONTEIRO, L. M**. Surface urban heat island and geospatial indicators:

comparative decadal assessment through remote sensing. AMBIENTE CONSTRUÍDO (ONLINE), v. 24, p. 1, 2024.

MONTEIRO, L. M. **CONFORTO TÉRMICO EM ESPAÇOS URBANOS ABERTOS: verificações modelares como aportes à exploração de abordagens**. Livre Docência, FAUUSP, 2018.

NAIRN, J.; OSTENDORF, B.; BI, P. Performance of excess heat factor severity as a global heatwave health impact index. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, vol. 15, no. 11, 2018.

NAIRN, J. R.; FAWCETT, R. J. B. The excess heat factor. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, vol. 12, no. 1, p. 227–253, 2014.

OLIVEIRA, A.; LOPES, A.; SOARES, A. Excess Heat Factor climatology, trends, and exposure across European Functional Urban Areas. **Weather and Climate Extremes**, vol. 36, no. May, 2022.

OLIVEIRA, D. S.; COSTA, P. D. P.; BEZERRA, L. M.; AVILA, A. M. H. de; FARIA, E. C. de. Hotter, longer and more frequent heatwaves. **Revista Brasileira de Meteorologia**, vol. 36, n 2, 2021.

OUZEAU, G.; SOUBEYROUX, J. M.; SCHNEIDER, M.; VAUTARD, R.; PLANTON, S. Heat waves analysis over France in present and future climate. **Climate Services**, vol. 4, p. 1–12, 2016.

PERKINS, S. E.; ALEXANDER, L. V. On the measurement of heat waves. **Journal of Climate**, vol. 26, no. 13, p. 4500–4517, 2013.

ROYÉ, D.; CODESIDO, R.; TOBÍAS, A.; TARACIDO, M. Heat wave intensity and daily mortality in four of the largest cities of Spain. **Environmental Research**, vol. 182, 2020.

SCHOETTER, R.; CATTIAUX, J.; DOUVILLE, H. Changes of western European heat wave characteristics projected by the CMIP5 ensemble. **Climate Dynamics**, vol. 45, 2015.

SILVA, N. de S.; ALVES, J. M. B.; SILVA, E. M.; SOUSA, G. M. Ocorrência de Ondas de Calor com Dados de Reanálises em Áreas do Nordeste, Amazônia e Centro-Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, vol. 37, no. 4, p. 441–451, 2022.

VAGHEFI, S. A.; MUCCIONE, V.; NEUKOM, R.; HUGGEL, C.; SALZMANN, N. Future trends in compound concurrent heat extremes in Swiss cities. **Weather & Climate Extremes**, v. 38, 2022.

WILLIAMS, S.; NITSCHKE, M.; TUCKER, G.; BI, P. Extreme heat arrangements in South Australia.**Health promotion journal of Australia**, vol. 22 Spec No, p. 21–27, 2011.

WMO. **2024 as warmest year**. Disponível em: <https://wmo.int/news/media-centre/wmo-confirms-2024-warmest-year-record-about-155degc-above-pre-industrial-level>. 31 jan. 2025.