

ONDAS DE CALOR E OS SEUS IMPACTOS NA INTENSIDADE DA ILHA DE CALOR INTRAURBANA EM SÃO CAETANO DO SUL, SÃO PAULO

María Cleofé Valverde

Gabriel Lúcio Paulino de Oliveira

Universidade Federal do ABC

RESUMO

As ondas de calor (OC) são fenômenos atmosféricos extremos com impactos significativos em diferentes setores da sociedade. O presente estudo teve como objetivo avaliar as OC no município de São Caetano do Sul, São Paulo, e seu impacto nas ilhas de calor (IC) atmosféricas intraurbanas. Os resultados mostraram, para o período de 25 anos (1999-2023), o registro de 131 eventos de OC afetando o município, sendo estes mais frequentes no verão e na primavera. O limiar identificador da temperatura máxima, foi de 34°C. Em relação aos impactos nas IC, verificou-se que quando OC ocorrem, a intensidade máxima da IC intraurbana é superada em até 3°C, em relação ao seu valor médio (5,7°C), com um prolongamento das altas temperaturas, que vão das 17h às 23h, influenciando o conforto térmico da população. Ainda na primavera (setembro e outubro), as OC foram mais extremas e, conseqüentemente, a intensidade da IC intraurbana também.

Palavras-chave: Ilha de calor intraurbana; São Caetano do Sul (SP); Ondas de calor.

ABSTRACT

Heat waves (HW) are extreme atmospheric phenomena that significantly impact various sectors of society. This study aims to assess HW in the municipality of São Caetano do Sul, São Paulo, and its effects on intra-urban heat islands (HI). Over 25 years (1999-2023), 131 HW events were recorded in the municipality, with these events occurring more frequently during the summer and spring seasons. The maximum temperature threshold identified was 34°C. The findings revealed that during HW events, the maximum intensity of intra-urban heat increases by up to 3°C above the average value of 5.7°C. Additionally, the duration of high temperatures extends from 5 PM to 11 PM, which adversely affects the thermal comfort of the population. Notably, HW events were found to be more extreme in spring (September and October), leading to an even greater intensity of intra-urban heat.

Key words: Intra-urban heat island; São Caetano do Sul (SP); heat waves.

INTRODUÇÃO

As ondas de calor (OC) são fenômenos atmosféricos extremos de tempo e clima com capacidade de gerar desconforto térmico e elevação significativa das temperaturas. Além dos impactos em diversos sistemas ambientais (Duarte, 2020; West, 2003; Lima, 2007), o efeito negativo na saúde da população tem sido motivo de diversos estudos (Diniz *et al.*, 2020; Son *et al.*, 2016; Basu e Samet, 2002). Dessa forma, apesar de uma OC ser um evento atmosférico, ela também deve ser avaliada com referência aos seus impactos (Robinson, 2001).

A frequência das OC tem aumentado consideravelmente nestas últimas décadas (IPCC, 2021) e tem sido mais intensa em algumas regiões do planeta, como na Austrália (Trancoso *et al.*, 2020), na Europa (Vautard *et al.*, 2023) e no norte dos Estados Unidos (Lau e Nath, 2012), com impactos catastróficos.

A Organização Mundial de Meteorologia (OMM) define uma OC como: um evento quente, incomum, extremo, com altas temperaturas máximas, mínimas e médias diárias, que persiste pelo menos dois dias consecutivos, principalmente durante o período quente do ano, detectado com base nas condições climatológicas locais e com condições térmicas registradas acima de limites determinados (WMO, 2023).

No Brasil e no mundo, inúmeros estudos para a identificação e avaliação do fenômeno OC têm sido realizados (Lau e Nath, 2012; Bitencourt *et al.*, 2020; Reis *et al.*, 2019; Geirinhas *et al.*, 2018; Trancoso *et al.*, 2020; Valverde e Rosa, 2023), considerando desde a escala territorial de país até a escala municipal, com o intuito de determinar o limiar de temperatura que possa caracterizar o fenômeno.

As OC são acompanhadas de sistemas anticiclônicos semi-estacionários que se localizam sobre a região afetada pelo estresse térmico os quais se caracterizam por uma massa de ar subsidente. Estes anticiclones advectam ar quente e úmido de latitudes tropicais, produzindo anomalias positivas de temperatura sobre a região afetada e, por estes sistemas serem quase estacionários, as altas temperaturas persistem por alguns dias consecutivos, levando a formação de eventos meteorológicos prolongados e extremos (Rusticucci *et al.*, 1995; Cerne e Vera, 2010; Robinson, 2001; Geirinhas, 2018; Bitencourt *et al.*, 2016; Oliveira, 2021; Valverde e Rosa, 2023).

Reis *et al.*, (2019) identificaram as OC, na região subtropical do Brasil, com base no percentil 90th das anomalias da T_{máx} diária. Na sub-região que compreende o estado de São Paulo, os autores encontraram uma intensidade média da OC de 38,7 °C com persistência média de 8,4 dias. Valverde e Rosa (2023) estudaram as OC no estado de SP e espacialmente identificaram diferenças significativas nos limiares de OC, mas, considerando todo o Estado, o limiar médio de intensidade foi de 34,9 °C, com uma duração média de 5,3 dias.

Ademais, apesar de já existirem diversos estudos que identificam os episódios de OC em grande parte do território brasileiro (Bitencourt *et al.*, 2016), outras pesquisas recentes evidenciam a necessidade de caracterizar a ocorrência das OC em regiões de menor escala espacial, por meio do seu limiar de temperatura identificador (Valverde e Rosa, 2023; WMO, 2023; Oliveira, 2021; Robinson, 2001). Aliada a isso, destaca-se a necessidade de estudos em territórios menores a fim de estabelecer limiares próprios para a região estudada, para que desta forma seja possível obter uma base de dados sólida para novos trabalhos que terão como objetivo buscar ações que mitiguem os efeitos da OC.

Um fenômeno análogo, que produz estresse térmico, mas em uma escala urbana, é a ilha de calor urbana (ICU). A ICU é um fenômeno típico do clima urbano, que ocorre em áreas urbanas, geralmente nas áreas centrais das cidades, nas quais se concentram as maiores temperaturas, seja do ar ou da superfície. De modo geral, a diferença de temperaturas, ao longo do dia, em áreas mais e menos urbanizadas, se dá pela diferenciação no padrão de ocupação do solo, no índice de pavimentação das vias, nos materiais de construção utilizados nos processos de urbanização, na

intensidade de espaços verdes, entre outros (Oke, 1987; Lopes, 2016; Amorim, 2019; Valverde *et al.*, 2020).

O conceito ICU tem evoluído significativamente no sentido de não apenas ser descrito como um fenômeno noturno do clima urbano. A ICU também pode ser identificada em horários vespertinos, preferencialmente ao analisar as ilhas de calor atmosféricas. Pesquisas realizadas em cidades tropicais identificaram que a intensidade máxima da ilha de calor atmosférica pode ocorrer também no período diurno e/ou vespertino, como já verificado em Xi'an, China (Gao *et al.*, 2025), em Guelma, Algeria (Sayad *et al.*, 2023), em Toluca, México (Méndez *et al.*, 2008), Temuco, Chile (Steffes *et al.*, 2001), Rio de Janeiro (Fialho e Brandão, 2002), Toronto, Canadá (Anderson *et al.*, 2018), ABC Paulista (Valverde *et al.*, 2022). Sendo essa questão ainda muito discutida, pois depende da área analisada, de sua geografia, da localização latitudinal, da variabilidade sazonal, da duração do dia e da noite, do fator de visibilidade do céu, da verticalidade, da escala topo-climática (Fialho, 2012) e da condição atmosférica sinóptica.

Por outro lado, nas últimas décadas, tem sido introduzido o conceito de ilha de calor intraurbana (Landicho e Blanco, 2019; Bruns e Simko, 2017; Kousis *et al.*, 2021) para analisar o fenômeno em escalas espaciais reduzidas, para propiciar a gestão da sua mitigação ou adaptação. A expansão das cidades e a sua acelerada introdução de novos materiais de superfície, grandes construções e estruturas urbanas, como shoppings, prédios e universidades, alteram o microclima, a temperatura do ar e da superfície, criando núcleos de ICU entre suas construções, com características térmicas diferenciadas. Assim, as chamadas ilhas de calor intraurbanas (ICIU), são áreas dentro de uma cidade mais quentes do que as demais, que surgem devido às diferenças significativas de temperatura ao longo da ICU, decorrentes de uma distribuição desigual de edifícios e calçadas que absorvem e emitem calor. Nesse contexto, as ICIU precisam ser estudadas e analisadas a fim de mitigar seu desenvolvimento, expansão e efeitos nocivos à população.

A ICU é um fenômeno presente nas grandes metrópoles e cidades, como é o caso da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), seus municípios e sub-regiões (Barros e Lombardo, 2016; Amorim, 2019; Valverde *et al.*, 2020; Silva Júnior *et al.*, 2020). O estudo de Lombardo (1985), um dos pioneiros no Brasil, identificou o fenômeno de IC no município de São Paulo e verificou diferenças de até 10 °C entre as temperaturas do centro urbano e áreas periféricas de caráter rural. Também é amplamente demonstrado que as áreas com poucos espaços verdes apresentam maiores temperaturas de superfície, o que implica na relação direta entre o uso e ocupação do solo e a intensidade do fenômeno (Barros e Lombardo, 2016).

Ressalta-se que a ICU, diferentemente de uma OC, pode ser considerada um fenômeno quase permanente das grandes metrópoles, com intensidades que variam de acordo com as condições de tempo atmosférico, mas que tende a se intensificar devido ao crescimento das cidades e à alta impermeabilização. Já uma OC é um evento atmosférico episódico que afeta, de forma geral, áreas urbanas e rurais devido à sua abrangência espacial. Assim, apesar da OC e da IC terem sido muito estudadas individualmente, esses eventos podem atuar em conjunto, aumentando e potencializando os seus impactos.

Zscheischler *et al.*, (2018) advertem que é possível a existência de “evento composto” acontecendo num contexto de ocorrência de extremos, isto é, podem ocorrer inundações, incêndios, ondas de calor e secas como resultado de uma combinação de processos físicos interagindo em

várias escalas espaciais e temporais, ocorrendo simultaneamente ou não. Ainda os autores mencionam que muitos métodos tradicionais de avaliação de risco climático normalmente consideram apenas um fator e/ou risco de cada vez, potencialmente levando à subestimação do risco, já que os processos que causam eventos extremos geralmente interagem e são dependentes espacial e/ou temporalmente.

Um exemplo de “evento composto” são as secas e as OC, que, quando ocorrem simultaneamente como eventos combinados, causam perda agrícola, mortalidade florestal e escassez de água potável. O aumento previsto de recorrência e intensidade de eventos de seca e OC é uma séria ameaça à segurança alimentar futura (Miralles, *et al.*, 2019). Da mesma forma, um evento composto de IC e OC pode promover um excesso de mortalidade, principalmente no seio da população mais idosa e vulnerável (Son *et al.*, 2016) devido à alta intensidade do aquecimento.

Nesse contexto, a hipótese que se formula neste trabalho é que a OC, por ser um evento atmosférico extremo de escala espacial sinóptica, quando ocorre, tem o poder de influenciar qualquer fenômeno climático urbano, como, por exemplo, a ilha de calor urbana, que ocorre pelo aumento das temperaturas nas áreas centrais das cidades, marcadas pelo grande adensamento urbano e pelas atividades antrópicas. Assim, o objetivo do trabalho é compreender qual é o efeito da OC na intensidade da ICU no município de São Caetano do Sul (SCS), no estado de São Paulo. Deseja-se responder às seguintes questões: Quais são as características dos eventos de OC no município de SCS? Qual é a resposta da intensidade da IC, quando ocorrem eventos de OC? Existe uma alteração na intensidade da IC?

Segundo o levantamento bibliográfico realizado, no Brasil ainda são muito poucos os estudos que abordam os efeitos conjuntos desses dois eventos OC e IC, pois abrangem escalas espaciais e temporais diferentes, no âmbito das ciências atmosféricas e climáticas.

METODOLOGIA

Área de estudo

A área de estudo é o município de São Caetano do Sul, localizado na região metropolitana de São Paulo, especificamente na região do ABC Paulista (Figura 1). De acordo com o censo de 2022 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística¹, o município ocupa uma área de 15,331 km² com densidade populacional de 10.805,23 hab/km² e com a população estimada em 165.655 habitantes.

Dados e métodos

¹ <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/sao-caetano-do-sul/panorama>, acesso em 01/04/2026.

Foram utilizados dados horários de temperatura do ar e umidade relativa do ar provenientes de duas estações meteorológicas automáticas (EMA) localizadas em São Caetano do Sul, para o período de 1999 a 2023 referente à estação administrada pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (SCS-CETESB) e à EMA localizada no limítrofe de SCS com o bairro Ipiranga (cidade de São Paulo) para o período de 2012 a 2023 administrada pelo Centro de Gerenciamento de Emergência (SCS-CGE). A localização das EMA pode ser visualizada na Figura 1.



Figura 1 – Localização do município de São Caetano do Sul na região do ABC Paulista e a localização das estações meteorológicas. Fonte: Autoria própria.

Neste trabalho, não foram utilizados dados atmosféricos de bases de dados estimadas por modelos climáticos ou de dados interpolados, tais como BR-DWGD (Xavier et al., 2022), NCEP (Kanamitsu et al., 2002) ou ECMWF (ERA5-Land) (Muñoz Sabater, 2019), entre outros, devido à resolução espacial deles. O município é de porte menor; tem apenas 15,3 km². Só os dados do BR-DWGD têm resolução espacial aproximada de 11 km. Por outro lado, utilizar dados estimados implica fazer a validação deles; do contrário, inserem-se mais incertezas e erros no cálculo.

Os dados horários das EMAs passaram por um controle de qualidade, no qual foram verificadas inconsistências, para cada ano e horário da série de dados, como falhas e/ou dados suspeitos. Para além disso, foi empregado o critério de Chiqueto, (2009) para consideração de lacunas ou falhas na série de dados, sendo assim, apenas foram consideradas séries que respondessem ao

critério de representatividade acima de dois terços do total, não podendo haver lacunas ou falhas consecutivas. Portanto as análises anuais só eram consideradas se houvesse no mínimo uma sequência de dados válidos de 8 meses, análises mensais se houvessem no mínimo uma sequência de dados válidos de 20 dias e análises diárias se houvessem no mínimo 16 horas de dados válidos. Mas, para o presente estudo ainda foi especificado que não deveriam faltar dados entre as 11h e 17h, que é o horário em que ocorre a temperatura máxima do dia.

Para a identificação da ocorrência de ondas de calor foi utilizado o método de Bitencourt *et al.*, (2016) adaptado para a nossa área de estudo e número de estações meteorológicas disponíveis. O número de dias mínimos de persistência do evento para ser considerada como onda de calor foi de 3 dias, como utilizado por Bitencourt *et al.*, (2016).

Inicialmente foram identificadas as temperaturas máximas diárias ($T_{máx}$) com base na temperatura horária diária, que foi o máximo valor horário da temperatura para cada dia. Posteriormente foram calculadas as médias diárias das $T_{máx}$ (\underline{T}_{max}), para cada estação meteorológica (k), utilizando a equação (1):

$$\underline{T}_{max}(k, d) = \frac{1}{N(k,d)} \sum_{i=1999}^{2023} T_{max(i)}(k, d) \quad \dots \quad (1)$$

Onde: $k = 1, 2$ (número de estações meteorológicas);

$d = 1, 2, 3, \dots, 365$ (dias do ano);

$N(k, d)$ é o número de anos com existência de dados, para a estação k e dia d .

Também, foi calculado o desvio padrão diário (σ) de cada estação meteorológica, resultando em uma série de dados de 365 valores de \underline{T}_{max} e σ para cada uma das duas estações. Logo, para cada série foram identificados os eventos de três ou mais dias consecutivos que possuem um valor de $T_{maxM} \geq \underline{T}_{max} + \sigma$.

Logo após foi selecionado para cada um desses eventos o valor médio da T_{maxM} em cada estação meteorológica. Para essa série foi calculado o terceiro quartil, o que definiu o limiar da intensidade (Int) da onda de calor em cada estação meteorológica.

Os dias com Int acima do limite superior ao terceiro quartil da série (limiar) e que persistiram no mínimo até três dias foram classificados como onda de calor. Segundo Bitencourt *et al.*, (2016), escolher os eventos que estão acima do terceiro quartil possibilita selecionar as ondas de calor que realmente são impactantes pelos altos valores de $T_{máx}$, além de eliminar aqueles eventos que não possuem potencial de impacto, seja para a sociedade ou para algum setor socioeconômico de forma mais ampla.

Foi avaliado também o grau de severidade da onda de calor, em função do tempo de duração do evento, e foi utilizada a escala adotada por Geirinhas *et al.*, (2018). O evento de onda de calor com duração de 3-6 dias foi considerado um evento moderado; com duração de 6-10 dias, eventos graves, e eventos de calor com duração superior a 10 dias foram considerados eventos extremos. Para os eventos de ondas de calor identificados, foi investigada também a umidade relativa do ar, no que se refere ao seu menor valor encontrado para cada evento.

No que se refere à identificação da IC no município, trabalhou-se com o conceito de ilha de calor intraurbana, uma vez que existem diferenças significativas de temperatura dentro dos limites da cidade, devido às diferentes tipologias de construção e de uso e ocupação do solo. Além disso, o município não possui áreas de proteção ambiental ou rurais, o que é confirmado com informações do último censo de 2022 do IBGE², uma vez que a área territorial do município é de 15,331 km², muito próximo a sua área urbanizada (15,33 km²), por esse motivo, o conceito clássico da IC urbana não se aplica.

Os estudos que identificam que SCS é uma IC urbana (Valverde et al., 2020) tem comparado o comportamento térmico do município com áreas de municípios próximos que compõem a região do ABC Paulista, da qual SCS faz parte, principalmente da área de preservação da represa Billings em São Bernardo do Campo e Santo André.

Neste trabalho, para identificar a intensidade da IC intraurbana do município, utilizaram-se as duas EMAs, as quais apresentam localização com diferenças na sua conformação urbana, uma delas localizada em uma área densamente urbana e verticalizada (SCS-CETESB) e a outra (SCS-CGE) em uma área residencial com vegetação esparsa e próxima a parques. Com essas duas estações, foi possível o cálculo da intensidade da IC intraurbana segundo a formulação de Oke, (1981):

$$\Delta T = T_u - T_r \quad \dots \quad (2)$$

que representa a diferença entre a temperatura urbana da área mais densificada e verticalizada (T_u) em relação à área menos verticalizada e adensada (T_r), em um horário determinado do dia (Oke, 1981).

A classificação utilizada para a intensidade da IC foi a documentada por Fernandez García (1996) e adaptada para o presente estudo:

Fraca magnitude: 0,1 °C e < 2 °C,

Média magnitude: 2 °C e < 4 °C

Forte magnitude: 4 °C e < 6 °C.

Muito Forte: 6 °C e < 10 °C.

Extremamente Forte: > 10 °C

RESULTADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Características dos eventos de OC no município de São Caetano do Sul

² <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/sao-caetano-do-sul/panorama>

Inicialmente procedeu-se à identificação do limiar da T_{máx} para ocorrência das OC em SCS, com as duas séries de dados das EMAs (SCS-CETESB e SCS-CGE). A inspeção e o tratamento dos dados de temperatura na escala horária se realizaram através do controle de qualidade, e identificaram-se lacunas com ausência completa de registros de dados dos anos de 2014, 2015 e 2016 na série de dados da SCS-CETESB. No restante dos dados verificou-se a condição estabelecida por Chiqueto (2009) para garantir a consistência dos dados.

A base de dados do SCS-CGE não mostrou nenhuma lacuna de dados significativa e aplicou-se a metodologia de identificação. E lembrando-se de que a série de dados de SCS-CGE só corresponde ao período de 2012 a 2023.

Após a verificação da consistência dos dados e com a aplicação da metodologia, encontrou-se, para a série de dados mais longa pertencente à SCS-CETESB, o limiar identificador de eventos de OC, que foi de 34 °C. Com base nesse valor, verificaram-se, dia a dia, períodos com o mínimo de três dias consecutivos com T_{máx} com valor maior ou igual a 34 °C. Dessa forma, foram encontrados 131 eventos de OC para o período de 1999 a 2023. A análise da umidade relativa (UR) associada a estes eventos apresentou uma média de 38,4%; junto a isso, identificou-se que, dos 660 dias sobre eventos de OC, 151 dias estiveram com UR abaixo de 30%.

Devido à base de dados da SCS-CETESB ter ausência de dados nos anos 2014, 2015 e 2016, optou-se por preencher o número de OC desses anos com o encontrado na estação do SCS-CGE, uma vez que as OC são eventos atmosféricos de escala espacial sinótica que abrangem dezenas de quilômetros, e se for identificado um evento de OC nos dados do SCS-CGE, então também ocorrerá no local da SCS-CETESB, e conseqüentemente, no estado de SP, independentemente do valor do limiar identificador.

A Figura 2a mostra o número de eventos de OC para o período de 1999 a 2023, mês a mês, identificando uma sazonalidade, sendo o verão (dezembro, janeiro e fevereiro) e a primavera (setembro, outubro e novembro) as estações que apresentam a maior frequência de eventos de OC. Foram contabilizados 62 eventos de OC registrados no verão e 49 eventos na primavera. Destacam-se os meses de fevereiro (22 eventos) e dezembro (21 eventos) com os maiores valores de eventos de OC.

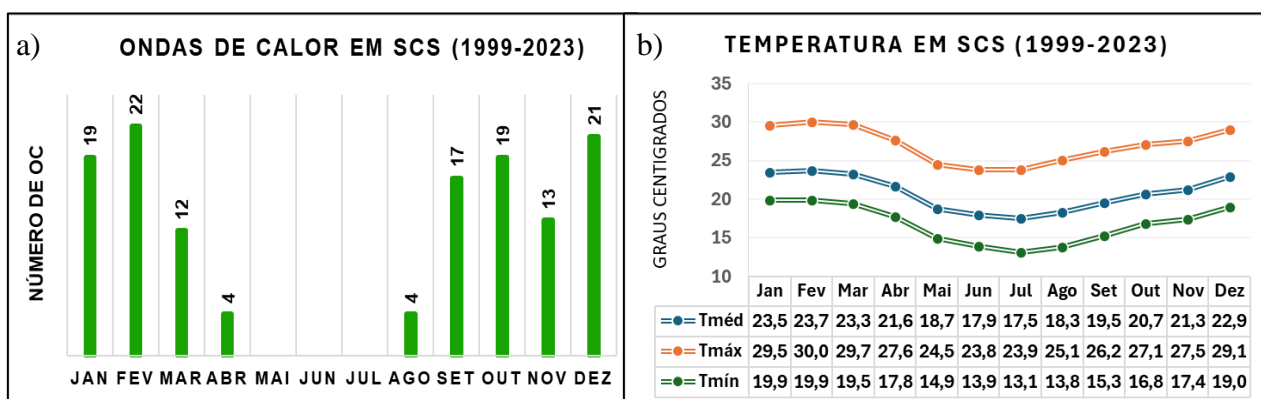


Figura 2 – Ciclo anual do número de eventos de OC (a) e ciclo anual da temperatura máxima, mínima e média (b). Fonte: Autoria própria, com base nos dados da estação meteorológica SCS-CETESB para o período de 1999-2023.

Estudos de OC para municípios do estado de São Paulo (SP), como o de Oliveira (2021) para o município de Campinas, apontam que os meses com maior ocorrência de OC são fevereiro e outubro; já o de Valverde e Rosa (2023), que considerou todo o estado de SP, encontrou o maior número de OC em outubro e setembro. É importante destacar que os estudos citados acima trabalharam com diferentes períodos de dados, além de serem períodos anteriores ao que foi analisado para o município de SCS.

A Figura 2b mostra o ciclo anual da temperatura média diária mensal, máxima e mínima. Além de confirmar que os meses mais quentes, coincidem com os meses de maior ocorrência de OC, verifica-se que o limiar de 34°C que identifica a OC, o qual deve persistir pelo menos três dias consecutivos, está acima em 4°C da temperatura máxima diária média mensal, do mês mais quente (fevereiro).

Existem diversos métodos para a identificação do limiar de OC. O Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) adota a seguinte definição para OC em todo o território brasileiro: a temperatura máxima diária deve ultrapassar a temperatura máxima média mensal em 5 °C ou mais e deve permanecer por cinco ou mais dias consecutivos. No entanto, a OMM (WMO, 2023) recomenda que o limiar identificador de uma OC seja construído com dados registrados na região. Também, Valverde e Rosa (2019) identificaram uma alta variabilidade espacial da intensidade das OC no estado de São Paulo e destacaram a importância da análise na escala local para entender melhor os impactos. Considerando os estudos citados acima, neste trabalho identificamos um limiar próprio para o município de SCS.

Em relação às temperaturas em SCS (Figura 2b), fevereiro se destaca como o mês mais quente considerando a temperatura média (23,7 °C), máxima (30 °C) e mínima (19,9 °C) e o mês de julho é o mês mais frio considerando a temperatura média (17,5 °C) e mínima (13,1 °C). Já, junho apresenta a menor T_{máx} (23,8 °C).

Em relação à variabilidade de eventos de OC ao longo do período de 1999 a 2023, não foi identificada tendência de aumento ou diminuição ao longo do período analisado, porém, observa-se que o ano de 2012 apresentou o maior número de OC, seguido por 2010. Seguindo a metodologia de Geirinhas (2018) adaptada a este estudo e com base no número de dias de cada evento, classificaram-se os eventos em moderados, graves e extremos. A Tabela 1 mostra o resultado dessa classificação aplicada aos dados de SCS-CETESB; percebe-se que a frequência de eventos moderados é visivelmente maior do que a dos eventos considerados como graves ou extremos.

Identificação do impacto das OC na IC intraurbana no município de São Caetano do Sul

Foram selecionados 11 eventos de OC, os quais incluíam a categorização de evento moderado, grave e extremo. A análise também incluiu as diferenças entre os eventos ocorridos no verão e na primavera.

Classificação	Número de OC	Mês de maior frequência	Caraterísticas
Moderados (3-5 dias)	86	janeiro	A T _{máx} média dos eventos moderados foi de 34,2°C; cabe um destaque aos eventos de outubro de 2012 e de 2020 que possuíram uma T _{máx} média de 38,2°C e 38,1°C, respectivamente, e umidade relativa média de 44,3% e 26,7% respectivamente. Além disso, ao todo, a média de UR de todos os eventos moderados foi de 38,4%
Graves (6-10 dias)	13	março e dezembro	A T _{máx} média dos eventos graves foi de 34,6°C, e cabe um destaque ao evento de fevereiro de 2012 que registrou uma temperatura média de 35,5°C. Junto a isso, a UR relacionada ao evento de fevereiro foi de 36,3% e a UR média de todos os eventos graves foi de 37,4%
Extremos (>10 dias)	4	fevereiro	A T _{máx} média dos eventos extremos foi de 35,4°C. Cabe um destaque aos eventos de fevereiro de 2010 e novembro de 2023 com T _{máx} média de 35,9°C e 36,6°C. Junto a isso, a UR relacionada a estes eventos é 36,8% e 26,2% respectivamente, já a UR média de todos os eventos extremos foi de 36,3%

Tabela 1 – Classificação dos eventos de Ondas de Calor de acordo com seu grau de severidade. Fonte: autoria própria.

Para a identificação da intensidade (ΔT) da ilha de calor atmosférica intraurbana utilizou-se a formulação de Oke (1981) como especificado na metodologia, com os registros horários das duas EMAs (SCS-CETESB e SCS-CGE), considerando a última EMA como aquela localizada em área menos densificada e verticalizada.

Segundo o estudo de Oliveira e Valverde (2024), que analisaram as OC no município de SCS, uma possível explicação para a diferença térmica na EMA SCS-CGE pode estar associada à localização e à maior presença de regiões arborizadas e parques ao redor, o que foi verificado por meio do cálculo do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada - NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*).

A figura 3 mostra as localizações das EMAs selecionadas para o cálculo da ΔT , confirmando o encontrado por Oliveira e Valverde (2024). Observa-se que o local onde se encontra localizada a EMA SCS-CETESB está rodeado por edifícios, com maior predominância no setor leste.

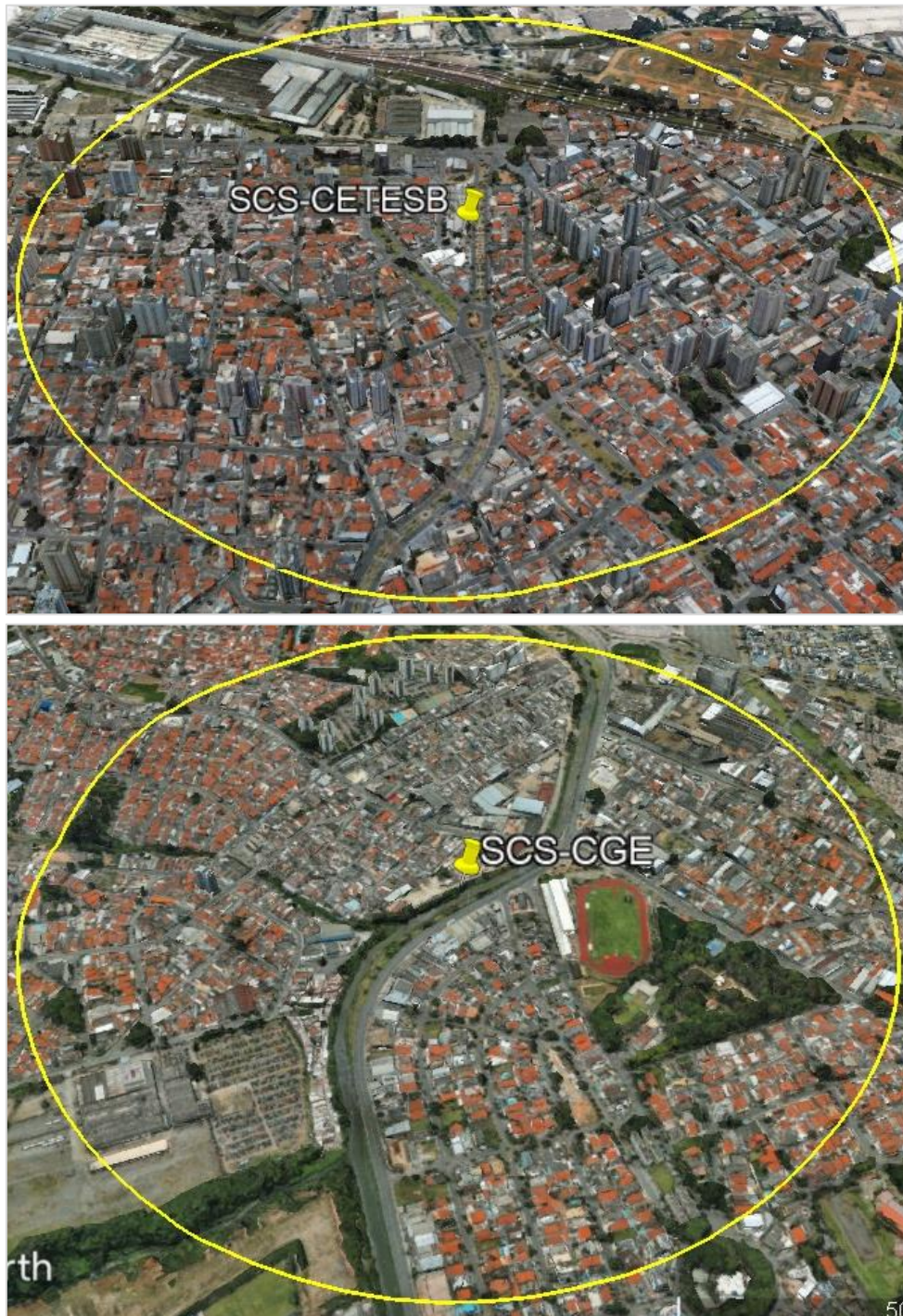


Figura 3 – Localização das EMA no município de São Caetano do Sul. Fonte: Os autores, com base nas imagens do Google Earth

Se considerar o conceito de zonas climáticas locais (ZCL), desenvolvido por Stewart e Oke (2012) que estabelece 17 classes, sendo 10 delas a partir da estrutura do tecido urbano: tipologia construtiva, forma e distribuição das edificações tipos de pavimentos, entre outros, a área correspondente ao local de SCS-CTESB (Fig. 3a) pertenceria a primeira (ZCL1) e a segunda classe

(ZCL2) que caracterizam ocupações compactas com edificações verticais de grande e médio porte, e poucas árvores. Já a área do local da SCS-CGE (Fig. 3b) se insere nas classes ZCL3 e ZCL6, com predominância de ocupações compactas de pequeno porte e ocupações esparsas, intercaladas por vegetação, respectivamente, além de apresentar parques e um rio (Córrego dos Meninos) próximo à localização da EMA. As diferenças na tipologia urbana de acordo com as suas propriedades físicas influenciam no campo térmico (Stewart e Oke, 2012), como foi demonstrado nos resultados obtidos.

A Tabela 2 mostra as temperaturas máximas do evento de OC ocorrido no período de 16/09 a 19/09 de 2012. Este evento de OC foi também identificado nos estudos de Valverde e Rosa (2023) que estudaram as OC no estado de São Paulo, identificando o limiar e o padrão atmosférico da alta de bloqueio em níveis médios da atmosfera. Verifica-se, para este evento, que as temperaturas máximas foram maiores na estação de SCS-CETESB, chegando a atingir o máximo valor de 38°C no dia 18/09.

EMA	T _{máx} (°C)			
	16/09/2012	17/09/2012	18/09/2012	19/09/2012
SCS-CGE	33,0	33,4	34,1	33,6
SCS-CETESB	36,8	36,9	38,0	37,0

Tabela 2 – Temperaturas máximas para o evento de OC ocorrido no período de 16/09/2012 a 19/09/2012 em São Caetano do Sul. Fonte: os autores.

A Tabela 3 mostra a ΔT horária da IC intraurbana para o período da OC do evento acima citado (16/09/2012 a 19/09/2012) e para quatro dias antes e depois. Na coluna dos dias, o período destacado com cor amarela identifica o período da OC. Observa-se que nos dias que não houve a OC, em geral, as intensidades da IC de maior valor ocorrem no período das 11h às 17h, no entanto, durante os dias 16 a 19 as intensidades categorizadas entre média até forte se prolongam para horários além das 17h, e nos dias 17 e 18 a intensidade média da IC se estendeu até as 24h, inclusive se prolongando em horários da madrugada, sendo que nos dias que não houve OC a intensidade foi fraca. No dia 19/09 às 18h se registrou a maior intensidade ($\Delta T = 7,3$ °C) considerada extrema.

A prolongação das ΔT de intensidade média em períodos de OC até o final da noite, está relacionada também com uma persistência dos altos valores de T_{máx} durante o horário da tarde, uma vez que os maiores valores não ocorrem como de costume entre 12h e 14h, para depois ter o decréscimo de temperatura. Em eventos de OC, o maior valor da T_{máx} pode ocorrer após as 15h, mantendo-se as altas temperaturas com mínimas oscilações até o final da tarde (18h).

A Figura 4 mostra o ciclo diurno da temperatura do ar para os dias 14/09 (sem OC) e 18/09 (com OC), onde se verificam as diferenças, especificamente, o deslocamento do horário da T_{máx}, que para o dia 18/09 ocorre às 15h (38°C) e a persistência até horários da tarde e noite das altas temperaturas, com valores acima de 34 °C até as 18h, e às 21h a temperatura era de 30,5 °C. Nesse dia a T_{mín} horária foi de 22,5 °C às 06h.

Dias	Horas																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
12/set	1,1	0,9	0,7	0,7	1,0	0,9	-0,2	-0,5	1,3	2,0	2,7	2,9	3,1	3,6	3,8	3,5	4,1	2,8	1,3	1,2	1,7	1,1	0,7	0,8
13/set	1,1	1,4	0,9	1,0	0,9	1,2	2,0	1,2	0,9	1,5	0,9	1,3	1,1	2,0	2,3	1,8	1,9	1,1	1,3	1,2	1,0	1,2	1,1	1,1
14/set	0,7	0,9	0,7	0,6	0,5	0,7	0,1	0,2	2,2	1,7	1,8	2,5	3,5	5,2	4,6	3,6	1,8	1,5	1,5	1,2	1,2	1,2	1,2	1,1
15/set	1,0	0,8	0,8	0,8	1,0	1,0	0,8	0,7	0,8	1,6	3,0	3,0	2,9	4,5	4,5	4,0	2,7	2,4	2,1	1,5	1,8	1,4	1,7	1,4
16/set	1,6	1,0	0,9	1,4	0,8	0,8	-0,3	-0,2	1,4	2,2	2,6	2,9	3,1	4,4	3,8	3,8	3,0	3,5	2,9	2,8	2,4	4,1	1,4	1,3
17/set	1,3	1,4	1,5	0,9	1,2	1,1	-0,2	-0,1	1,3	2,1	2,1	2,9	3,5	3,7	3,4	3,7	3,6	3,2	2,8	2,8	2,9	2,5	2,4	2,8
18/set	2,2	1,8	2,0	2,9	2,0	2,6	0,5	-0,1	1,6	2,4	2,7	3,3	3,7	3,7	4,8	3,8	3,4	3,3	3,0	2,5	2,4	2,3	2,3	2,2
19/set	1,2	1,6	0,7	0,3	0,1	0,2	-0,9	0,0	1,5	3,1	3,3	2,7	2,7	3,5	3,4	3,4	3,2	7,3	3,4	1,5	1,7	1,7	1,6	1,9
20/set	1,6	1,8	2,0	1,2	0,6	1,3	1,3	1,1	1,4	2,3	2,0	1,7	3,7	1,6	0,7	1,2	1,4	1,2	1,1	0,9	1,1	0,7	0,6	0,4
21/set	0,6	0,8	0,7	0,8	0,6	0,1	0,6	0,6	1,5	0,9	2,2	2,2	1,3	1,0	1,4	0,9	0,4	-0,1	0,1	0,8	0,7	1,2	1,0	2,1
22/set	0,8	0,9	0,9	0,7	0,5	0,3	0,9	0,6	0,4	1,3	2,1	3,6	2,8	2,9	3,8	3,4	2,8	2,0	1,2	1,0	0,8	0,5	0,7	0,6
23/set	0,6	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	-0,2	-0,2	1,1	2,1	1,8	2,2	2,9	2,9	2,6	3,1	2,1	1,8	1,2	1,1	1,0	0,7	0,7	0,7

0,1°C e < 2°C IC fraca
 2°C e < 4°C IC média
 4°C e < 6°C IC alta
 6°C e < 10°C IC extrema
 >10°C IC muito extrema

Tabela 3 – Intensidade de IC intraurbana (ΔT em °C) para o período de 12/09/2012 até 23/09/2012. Nota: Em amarelo se identifica o período em que ocorreu a OC. O preenchimento em cores significa a classificação das ΔT . Fonte: Os autores.

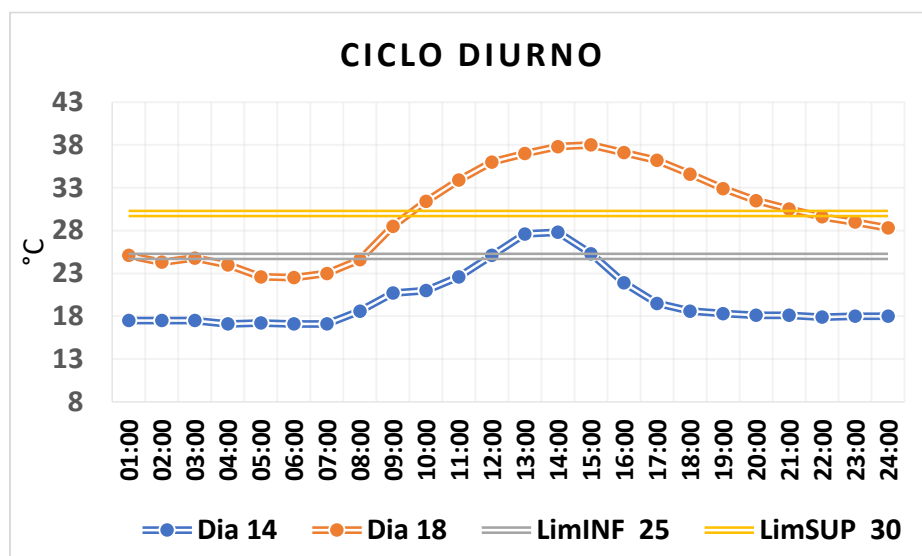


Figura 4 – Ciclo diurno da temperatura do ar dos dias 14 e 18 de setembro de 2012 com dados registrados na estação SCS-CETESB. Nota: As linhas indicam o limite inferior (25 °C) e o superior (30 °C) da faixa noturna, segundo Baniassadi *et al.* (2023). Fonte: Os autores.

Doenças relacionadas à ocorrência das OC e IC são vastas na literatura científica (Diniz *et al.*, 2020; Roscani *et al.*, 2017; Son *et al.*, 2016; Basu e Samet., 2002), mas, especificamente para as que investigam as altas temperaturas noturnas e a sua influência na qualidade do sono das pessoas (Minor *et al.*, 2022; Bai *et al.*, 2023; Baniassadi *et al.*, 2023). O estudo de Baniassadi *et al.* (2023) destaca que as noites mais quentes atrapalham o descanso das pessoas, gerando grande desconforto, principalmente para adultos da terceira idade e com doenças cardiovasculares. Segundo esses autores, quando as temperaturas chegam a 30 °C, especificamente, na faixa de 25 °C a 30 °C, durante o período noturno, a qualidade do sono caiu entre 5 e 10%. Para as temperaturas abaixo de 15°C, a perda da capacidade de descansar também diminuiu entre 2 e 5%. Porém, os

pesquisadores advertem que a percepção de calor ou de frio varia segundo o organismo de cada pessoa, sendo que a faixa de temperatura adequada para o sono é entre 20 °C e 25°C.

Em períodos de OC em SCS, verifica-se que, em horários noturnos, a sensação desconfortável de calor é alta, e isso é confirmado no gráfico do ciclo diurno da Figura 4, do dia 18/09, onde, em todo o período da noite, as temperaturas estiveram acima e muito próximas ao limite crítico estabelecido por Baniassadi *et al.* (2023). Isso comprova o impacto que as OC têm, na população em geral, quando se refere a qualidade do sono em ambientes que não possuem climatização adequada, afetando a saúde, e influenciando na privação do sono, o que pode incrementar o risco de doenças cardíacas, intensificar os transtornos de humor, diminuir a capacidade cognitiva, e, muito mais problemas de grande impacto individual, social e econômico como documentado por Baniassadi *et al.*, (2023).

Em SCS, de acordo com dados do IBGE³ quase 20% da população é composta por idosos e, onde mais da metade da população é composta por mulheres, pelo que é razoável dizer que os impactos das OC na população idosa no município de SCS devem ser uma situação preocupante de vulnerabilidade ao estresse térmico, como verificado no dia 18/09/2012 de OC. Além disso, cabe mencionar o fato já bem estabelecido por Kenney (1985) de que, devido a fatores fisiológicos, mulheres tendem a ser mais vulneráveis a eventos de estresse térmico do que os homens.

Para retratar um comportamento médio da influência das OC na intensidade ΔT , com base nos 11 eventos analisados e seguindo a mesma análise que o evento acima exemplificado (Tabela 3), com o cálculo da ΔT para o período que compreendeu a OC e para seis dias antes e depois do evento, construiu-se a Tabela 4. A intenção de analisar os dados horários de seis dias antes e seis dias depois da OC foi a de visualizar a intensidade da IC em períodos de não ocorrência de OC.

A Tabela 4 mostra as intensidades da IC considerando os valores médios para os períodos de OC e aqueles sem OC. As cores indicam a classificação da intensidade adaptada de Fernández García (1996). Comparando as intensidades ao longo das 24 horas do dia dos períodos sem OC (Tabela 4a) e com OC (Tabela 4b), verifica-se que quando ocorrem eventos de OC, a ΔT de intensidade alta (4,1°C a 5,9°C) se estende desde as 14h até as 18h, e após esse horário até as 24 h, e em alguns horários da madrugada a intensidade média (2,0°C a 3,9°C) prevalece. Em períodos sem OC valores de intensidade alta da IC só se concentram entre as 15h e as 16h, sendo que nos horários noturnos prevalecem as intensidades fracas de ΔT (0,1°C a 1,9 °C).

Também se identificaram diferenças na intensidade das IC durante eventos de OC ocorridos no verão (Tabela 4c) e na primavera (Tabela 4d). Verifica-se que nos casos ocorridos na primavera (setembro, outubro e novembro) os impactos da OC na ΔT da IC se destacam, principalmente, na extensão do período das altas intensidades (até as 18h), além da prevalência de intensidades médias em todo o período noturno.

As diferenças no impacto entre os eventos ocorridos no verão e na primavera foram evidentes neste trabalho. A ocorrência da OC tem como sustento atmosférico estar associada a um sistema de alta pressão atmosférica em 500 hPa, que, além de provocar subsidência, causa aquecimento na baixa atmosfera (Rusticucci e Vargas, 1995; Valverde e Rosa, 2023) e serve de bloqueio para o avanço dos sistemas frontais, que podem provocar chuva. Esse padrão atmosférico na

³ <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/sao-caetano-do-sul/panorama>, acesso em 02/04/2026.

primavera é muito bem configurado quando comparado com o verão. No verão, este padrão atmosférico ocorre junto com o aquecimento típico dos meses quentes, além de ser o período de chuvas na região Sudeste e, conseqüentemente, no município de SCS.

a)		Sem Onda de Calor (Horas)																							
Intensidade		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Fraca																									
Média																									
alta																									
extrema																									
Muito Extrema																									
b)		Com Onda de Calor (Horas)																							
Intensidade		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Fraca																									
Média																									
alta																									
extrema																									
Muito Extrema																									
VERÃO		Com Onda de Calor (Horas)																							
Intensidade		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Fraca																									
Média																									
alta																									
extrema																									
Muito Extrema																									
PRIMAVERA		Com Onda de Calor (Horas)																							
Intensidade		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Fraca																									
Média																									
alta																									
extrema																									
Muito Extrema																									
e)		Onda de Calor (Horas) do evento 02-07/12/2012																							
Intensidade		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Fraca																									
Média																									
alta																									
extrema																									
Muito Extrema																									

0,1°C e < 2°C

IC fraca

2°C e < 4°C

IC média

4°C e < 6°C

IC alta

6°C e < 10°C

IC extrema

>10°C

IC muito extrema

Tabela 4 – Classificação da intensidade da IC com eventos de onda de calor e sem onda de calor. Fonte: Os autores.

Porém, algumas vezes, em eventos de OC durante o verão, o bloqueio pode ser momentaneamente quebrado e instabilidades convectivas se formam devido as altas temperaturas, ocorrendo chuvas isoladas, e isso faz com que as temperaturas sofram pequenos declínios. Porém, após essas chuvas ligeiras, novamente o bloqueio se configura e as temperaturas se elevam.

No caso de SCS, por ser um município do setor sudeste da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) que se encontra mais próximo ao litoral, quando comparado com os outros municípios da RMSP, também está mais próximo da influência da brisa do mar, que pode ser outro fator

que contribua para a quebra momentânea do bloqueio, junto com as instabilidades das frentes frias, fazendo com que as temperaturas sofram decréscimos.

Foi demonstrado no estudo de Valverde e Rosa (2023) que somente no estado de SP se apresenta uma variabilidade espacial da intensidade das OC, sendo o norte e o noroeste do estado, aqueles que alcançam os máximos valores de limiares de OC (44 °C).

Por outro lado, a ICU atmosférica é um fenômeno do clima urbano já identificado no município de SCS pela sua alta densidade urbana, e ela é mais evidente durante o período das 11h às 17h, com um pico de intensidade, em média, entre as 12h e as 14h (Valverde *et al.*, 2020). Porém, no dia a dia, o horário da maior intensidade pode mudar eventualmente, pois as condições de tempo atmosférico (frentes frias, chuvas, entrada de brisas, entre outros) podem influenciar significativamente as condições térmicas. Assim como quando eventos de OC acontecem.

A Figura 5, por meio de diagramas de *boxplot* destaca as diferenças entre as intensidades máximas das IC e das OC. Considerando as estações do ano, é na primavera que ocorrem as máximas $T_{m\acute{a}x}$ das OC em SCS com o limite do primeiro quartil muito próximo ao limite superior do *boxplot* da OC no verão (Fig. 5a). Nos eventos de 8-18/11/2023 e 27-31/2012 foram registradas as máximas $T_{m\acute{a}x}$, 40,1°C e 40°C respectivamente.

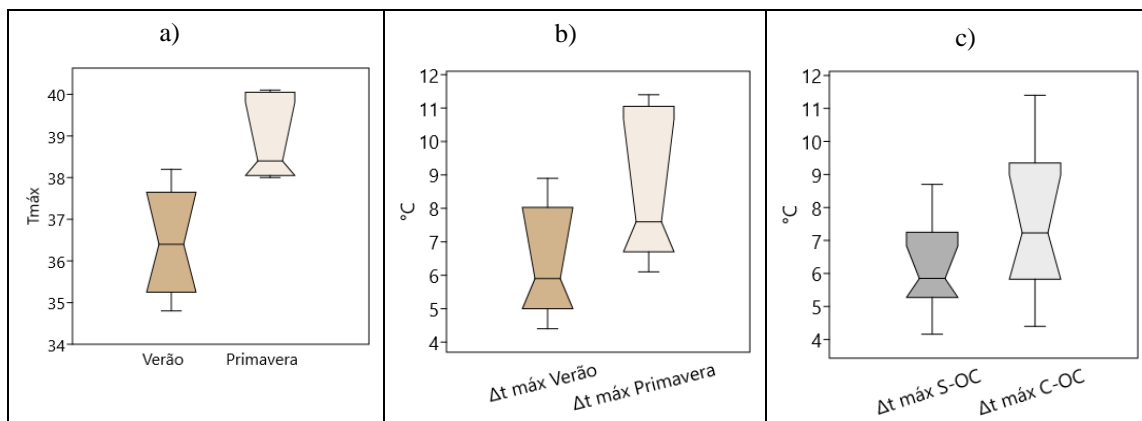


Figura 5 – Gráfico de *boxplots*; a) intensidades máximas ($T_{m\acute{a}x}$) das OC para verão e primavera; b) Intensidade máxima da IC ($\Delta T_{m\acute{a}x}$) durante o evento das OC no verão e na primavera; c) intensidade máxima da IC sem eventos de OC (S-OC) e durante eventos de OC (C-OC). Fonte: Os autores.

No que se refere a $\Delta T_{m\acute{a}x}$ da IC durante os eventos de OC, também se destaca a primavera como a estação em que as intensidades são maiores, apresentando uma grande variabilidade interquartílica (Fig. 5b), sendo que o máximo valor foi de 11,4 °C e ocorreu no evento severo de OC de 8-18/11/2023.

Finalmente, o diagrama de *boxplot* da Fig. 5c que compara a $\Delta T_{m\acute{a}x}$ da IC com OC e sem OC confirma que, em média, para eventos de OC, a $\Delta T_{m\acute{a}x}$ é maior, apresentando um amplo intervalo interquartílico, demonstrando uma alta variabilidade, com um limite superior de 11,4 °C que ocorreu no evento de novembro de 2023.

CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo compreender as características das OC no município de SCS e investigar o impacto do evento de OC na intensidade da IC atmosférica intraurbana. Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir:

- O município de SCS apresentou nos últimos 25 anos uma frequente incidência de OC, preferencialmente no verão (fevereiro e dezembro), seguida pela primavera.

- O limiar de identificação da OC foi de 34 °C, e, em média, o tempo de duração foi entre 3 e 5 dias, classificados como eventos moderados.

- No município, a intensidade máxima da ICIU atmosférica ocorreu preferencialmente em horários vespertinos.

- O impacto dos eventos de OC na intensidade da IC foi muito evidente na extensão da duração das intensidades (ΔT) moderadas (2 °C a 4 °C) até o final da noite e da madrugada.

- Sem ocorrência de OC, principalmente no horário noturno e de madrugada, a ΔT foi fraca (0,1 a < 2°C) ou inexistente. Já, com OC, a intensidade no horário da tarde se estendia até as 18h, aproximadamente; em média, a ΔT foi alta (4,1 °C a 6 °C).

- Houve casos específicos em que a intensidade foi extrema (6 °C a 10 °C) ou muito extrema (> 10 °C), como no evento de OC ocorrido entre 8 e 18/11/2023, que alcançou uma máxima ΔT de 11,4 °C, categorizado como evento severo.

- Considerando todos os casos analisados de OC, em média, a intensidade máxima da ICIU atmosférica é superada em até 3 °C, em relação ao seu valor médio (5,7 °C), para eventos que ocorrem na primavera (setembro, outubro e novembro). O que evidencia que na primavera as OC foram mais extremas e, conseqüentemente, a intensidade da IC intraurbana também.

Em suma, os resultados obtidos são inéditos para o município de São Caetano do Sul e visam contribuir para a gestão de ações de mitigação quando eventos de OC são iminentes e tornam o município exposto ao aquecimento extremo. Por exemplo, se considerar o impacto na saúde da população de SCS, a vulnerabilidade é acentuada tanto pela significativa população de idosos e mulheres, grupos já identificados nos estudos (Minor *et al.*, 2022; Bai *et al.*, 2023; Baniassadi *et al.*, 2023; Kenney, 1985) como os mais suscetíveis aos efeitos adversos de OC, quanto pela sua configuração urbano-climática, como os resultados demonstram. Nesse contexto, é crucial a criação e execução de políticas públicas que visem contornar e reduzir nas cidades os impactos causados pelas altas temperaturas em eventos de OC no município.

O estudo de Vassari-Pereira *et al.* (2022), que utilizou projeções de cenários climáticos futuros para relacionar as alterações climáticas com as taxas de incidência de internações por doenças respiratórias (TIIDR), em SCS, identificou que poderá existir um aumento de até 10% nas TIIDR para o período de 2070-2099. Nesse contexto, é primordial que se continuem novos estudos focados em medir diretamente os impactos das OC e IC na saúde da população de SCS.

No atual cenário global de emergência climática, é importante que o município invista na instalação de mais estações meteorológicas automáticas, para poder realizar um mapeamento que

inclua diversas áreas do município, de forma a aprimorar os resultados encontrados. Também é importante focar em estudos que avaliem a ilha de calor urbana de superfície, onde o detalhe da resolução espacial se aprimora; no entanto, as estações meteorológicas automáticas são necessárias para validar as estimativas.

Submetido em 02 de junho de 2025

Aceito para publicação em 31 de março de 2026

Referências

AMORIM, M.C.C.T. Ilhas de calor urbanas: métodos e técnicas de análise. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. Esp., p. 22-46, 2019. DOI: <<https://doi.org/10.5380/abclima.v0i0.65136>>

ANDERSON, C.I.; GOUGH, W.; MOHSIN, T. Characterization of the urban heat island at Toronto: Revisiting the choice of rural sites using a measure of day-to-day variation. **Urban Climate**, v. 25, p. 187-195, 2018. DOI : <<https://doi.org/10.1016/j.uclim.2018.07.002>>

BAI, K.J.; LIU, W.T.; LIN, Y.C., *et al.* Ambient relative humidity-dependent obstructive sleep apnea severity in cold season: a case-control study. **Science of The Total Environ.** 861, 160586, 2023. DOI : <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160586>>

BANIASSADI, A.; MANOR B.; YU, W.; TRAVISON, T.; LIPSITZ, L. Nighttime ambient temperature and sleep in community-dwelling older adults. **Science of The Total Environ.** 15; 899: 165623, 2023. DOI: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165623>>

BARROS, H. R.; LOMBARDO, M. A. A ilha de calor urbana e o uso e cobertura do solo em São Paulo. **Geosp – Espaço e Tempo** (Online), v. 20, n. 1, p. 160-177, 2016. DOI: <<https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geosp.2016.97783>>

BASU, R.; SAMET, J. M. Relation between elevated ambient temperature and mortality: a review of the epidemiologic evidence. **Epidemiologic Reviews**, v. 24, n. 2, p. 190-202, 2002. DOI: <<https://doi.org/10.1093/epirev/mxf007>>

BITENCOURT, D.P. *et al.* Frequência, Duração, Abrangência Espacial e Intensidade das Ondas de Calor no Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, p. 506-517, 2016. DOI: <<https://doi.org/10.1590/0102-778631231420150077>>

BITENCOURT, D.P., FUENTES M.V., FRANKE, A.E.; SILVEIRA, R.B.; ALVES, M.P.A. The climatology of cold and heat waves in Brazil from 1961 to 2016. **Int J Climatol**, v.40, p.2464–2478, 2020. <https://doi.org/10.1002/joc.6345>

BRUNS, J.; SIMKO, V. **Stable hotspot analysis for intra-urban heat islands**. Gi Forum, Salzburg, Austria. 2017.

CERNE, S.B.; VERA, C.S. Influence of the intraseasonal variability on heat waves in subtropical South America. **Climate Dynamics**, v. 36, p. 2265-2277, 2010. DOI: <<https://doi.org/10.1007/s00382-010-0812-4>>

CHIQUETO, J.B. **Padrões atmosféricos associados a concentrações de ozônio troposférico na região metropolitana de São Paulo**. Dissertação (mestrado em geografia física). São Paulo: Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, p.68. 2009.

DINIZ, F.R.; GONÇALVES, F.L.; SHERIDAN, S. Heat Wave and Elderly Mortality: Historical Analysis and Future Projection for Metropolitan Region of São Paulo, Brazil. **Atmosphere**, v. 11, n. 9, p. 933, 2020. DOI: <<https://doi.org/10.3390/atmos11090933>>

DUARTE, G.A.S. *et al.* Heat Waves Are a Major Threat to Turbid Coral Reefs in Brazil, **Frontiers in Marine Science**, v. 7, p.1-8, 2020. DOI: <<https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00179>>

FERNÁNDEZ GARCÍA, F. **Manual de climatología aplicada: clima, medio ambiente y planificación**. Madrid: Editorial Síntesis, S.A., 1996. 285p.

FIALHO, E.S. Ilha de Calor: reflexões acerca de um conceito. *Acta Geográfica*, p. 61-76. 2012. DOI: <<https://doi.org/10.5654/actageo2012.0002.0004>>

FIALHO, E.S.; BRANDÃO, A.N. **Variabilidade Temporoespacial do Campo Térmico na Ilha do Governador-RJ em situações sazonais contrastantes**. In: V SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA, 6, 2002, Curitiba, Paraná.

GAO, Y.; ZHAO, J.; HAN, L. Quantitative comparison of seasonal and diurnal characteristics for urban heat using meteorological monitoring data. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 22, p. 11243–11252. 2025. DOI: <<https://doi.org/10.1007/s13762-024-06172-9>>

GEIRINHAS, J.L.; TRIGO, R.M.; LIBONATI, R.; PERES, L.F. Climatic Characterization of Heat Waves in Brazil. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 41, p. 333-350, 2018. DOI: <https://doi.org/10.11137/2018_3_333_350>

IPCC. **Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2021, pp. 2391. DOI: <<https://doi.org/10.1017/9781009157896>>

KANAMITSU, M.; EBISUZAKI, W.; WOOLLEN, J.; YANG, S-K; HNILO, J.J.; FIORINO, M.; POTTER, G. L. NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis (R-2). **Bulletin of the American Meteorological Society**, p. 1631-1643, 2002. DOI: <<https://doi.org/10.1175/BAMS-83-11-1631>>

KENNEY, W.L. A review of comparative responses of men and women to heat stress. **Environmental Research**, v. 37, p. 1–11, 1985. DOI: <[https://doi.org/10.1016/0013-9351\(85\)90044-1](https://doi.org/10.1016/0013-9351(85)90044-1)>

KOUSIS, I.; PIGLIAUTILE, I.; PISELLO, A. Intra-urban microclimate investigation in urban heat island through a novel mobile monitoring system. **Scientific Reports**, V. 11, P. 9732. 2021. DOI: <<https://doi.org/10.1038/s41598-021-88344-y>>

LANDICHO, K.P.; BLANCO, A.C. Intra-urban heat island detection and trend characterization in metro Manila using surface temperatures derived from multi-temporal Landsat data. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, XLII-4/W19, 275–282, 2019. DOI: <<https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-4-W19-275-2019>>

LAU, N.C.; NATH, M.J. A model study of heat waves over North America: meteorological aspects and projections for the twenty-first century. **Journal of Climate**, v. 25, n.14, p. 4761–4764, 2012. DOI: <<https://doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00575.1>>

LIMA, K.A. *et al.* Estudo da influência de ondas de calor sobre a produção de leite no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 1, n. 1, p. 70-81, 2007.

LOPES, A. O sobreaquecimento das cidades. Causas e medidas para a mitigação da ilha de calor de Lisboa. **Territorium**, n. 15, p. 39-52, 2016. DOI: <https://doi.org/10.14195/1647-7723_15_4>

LOMBARDO, M.A. **Ilhas de Calor nas Metrôpoles: o exemplo de São Paulo**. São Paulo: HUCITEC, 1985. 244 p.

MÉNDEZ, C.C.M.; URIBE, D.M.; BECERRIL, L.A.G. Isla de calor en Toluca, México. **Ciência, ergo sum.**, v. 14, n. 3, p. 307–316, 2008.

MINOR, K.; BJERRE-NIELSEN, A.; JONASDOTTIR, S.S.; LEHMANN, S.; OBRADOVICH, N. Rising temperatures erode human sleep globally. **One Earth**, v. 5, n. 5, p. 534–549, 2022. DOI: <<https://doi.org/10.1016/j.oneear.2022.04.008>>

MIRALLES, D.G.; GENTINE, P; SENEVIRATNE, S.I.; TEULING, A.J. Land-atmospheric feedbacks during droughts and heatwaves: state of the science and current challenges. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 1436, n. 1, p.19-35, 2019. DOI: <<https://doi.org/10.1111/nyas.13912>>

MUÑOZ SABATER, J. ERA5-Land hourly data from 1950 to present. **Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS)**. 2019. DOI: <<https://doi.org/10.24381/cds.e2161bac>>

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. Routledge London & New York, Reino Unido, (2nd ed.). 1987, pp. 464. DOI: <<https://doi.org/10.4324/9780203407219>>

_____. Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observations. **Journal of Climatology**, v. 1, p. 237-254, 1981. DOI: <<https://doi.org/10.1002/joc.3370010304>>

OLIVEIRA, D. S. *et al.* Hotter, longer and more frequent heatwaves: an observational study for the Brazilian City of Campinas, SP. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 36, n. 2, p. 305-316, 2021. DOI: <<https://doi.org/10.1590/0102-77863620119>>

OLIVEIRA, G.L.P.; VALVERDE, M.C. **Identificação das Ondas de Calor e seus impactos no município de São Caetano do Sul**. XVII Simpósio de Iniciação Científica da UFABC e 19º Congresso de Iniciação Científica da USCS, Universidade Federal do ABC, 4 a 8 de novembro de 2024.

REIS, C.S.N.; BOIASKI, N.T.; FERRAZ, S.E.T. Characterization and spatial coverage of heat waves in subtropical Brazil. **Atmosphere**, v. 10, n. 5, p. 284, 2019. DOI: <<https://doi.org/10.3390/atmos10050284>>

ROBINSON, P. J. On the definition of a heat wave. **Journal of Applied Meteorology**, v. 40, n. 4, p. 762-775, 2001. DOI: <<https://doi.org/10.1175/1520-0450>>

ROSCANI, R.C. *et al.* Risco de exposição à sobrecarga térmica para trabalhadores da cultura de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 33, p. e00211415, 2017. DOI: <<https://doi.org/10.1590/0102-311X00211415>>

RUSTICUCCI, M.; VARGAS, W. Synoptic situations related to spells of extremes temperatures over Argentina. **Meteorological Applications**, v.2, p. 291-300, 1995. DOI: <<https://doi.org/10.1002/met.5060020401>>

SAYAD, B. *et al.* Diurnal characterization of the atmospheric urban heat island over urban hot agglomerations. **International Journal of Low-Carbon Technologies**, v. 18, p. 449–456, 2023. DOI: <<https://doi.org/10.1093/ijlct/ctad025>>

SILVA JUNIOR, R.S.; MARTILLI, A.; SILVA, E.H.L. Efeito da Urbanização sobre a dispersão de poluentes e formação de ilha de calor. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 27, p. 34-56, 2020. DOI: <<https://doi.org/10.5380/abclima.v27i0.69398>>

SON, J.; GOUVEIA, N.; BRAVO, M.A.; FREITAS, C.U.; BELL, M.L. The impact of temperature on mortality in a subtropical city: effects of cold, heat, and heat waves in São Paulo, Brazil. **International Journal of Biometeorology**, v. 60, n. 1, pp. 113–121, 2016. DOI: <<https://doi.org/10.1007/s00484-015-1009-7>>

STEFFES, A. C. de.; PICCOLO, M. C.; 1973. pp. 769–779. GONZÁLEZ, J. H.; NAVARRETE, G. La isla de calor estival em Temuco, Chile. **Papeles de Geografía**, n. 33, pp. 49–60, 2001.

STEWART, I.D.; OKE, T.R. Local climate zones for urban temperature studies. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 93, n. 12, p. 1879–1900, 2012. DOI: <<https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1>>

TRANCOSO, R.; SYKTUS, J.; TOOMBS, N.; AHRENS, D.; WONG, K.K.H.; POZZA, R.D. Heat-waves intensification in Australia: a consistent trajectory across past, present and future. **Science of the Total Environment**, 742, 140521, 2020. DOI: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140521>>

VALVERDE, M.C.; ROSA, M.B. Heat waves in São Paulo State, Brazil: Intensity, duration, spatial scope, and atmospheric characteristics. **International Journal of Climatology**, v. 43, n. 8, p. 1-17, 2023. DOI: <<https://doi.org/10.1002/joc.8058>>

VALVERDE, M.C.; COELHO, L.H.; CARDOSO A.O.; PAIVA JUNIOR, H.; BRAMBILA, R.; BOIAN, C.; MARTINELLI, P.; VALDAMBRINI, N. M. Urban climate assessment in the ABC Paulista Region of São Paulo, Brazil. **Science of the Total Environment**, v. 735, p. 139303, 2020. DOI: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139303>>

VAUTARD, R.; CATTIAUX, J.; HAPPÉ, T. *et al.* Heat extremes in Western Europe increasing faster than simulated due to atmospheric circulation trends. **Nature Communications**, v.14, p. 6803, 2023. DOI: <<https://doi.org/10.1038/s41467-023-42143-3>>

VASSARI-PEREIRA, D.V.; VALVERDE, M.C.; ASMUS, G.F. Impacto das mudanças climáticas e da qualidade do ar em hospitalizações por doenças respiratórias na região metropolitana de São Paulo (RMSP), Brasil. **Ciência e saúde coletiva**, v. 27, p.2023-2034, 2022. DOI: <<https://doi.org/10.1590/1413-81232022275.08632021>>

WEST, J.W. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v. 86, n. 6, p. 2131-2144, 2003. DOI: <[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73803-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73803-X)>

WMO - World Meteorological Organization. **Guidelines on the definition and a monitoring of extreme weather and climate events - TT-DEWCE**, WMO-No. 1310. 62p, 2023. Disponível em <https://rcc.dwd.de/DWD-RCC/EN/overview/documents/01_wmo_guidelines.pdf?_blob=publicationFile&v=3>. Acesso em 06/04/2026.

ZSCHEISCHLER, J. *et al.* Future climate risk from compound events. **Nat. Clim. Change**, v. 8, p. 469–477, 2018. DOI: <<https://doi.org/10.1038/s41558-018-0156-3>>

XAVIER, A.C.; SCANLON, B.R.; KING, C.W.; ALVES, A.I. New improved Brazilian daily weather gridded data (1961–2020). **International Journal of Climatology**, V. 42, n. 16, p. 8390– 8404. 2022. DOI: <<https://doi.org/10.1002/joc.7731>>