

ANÁLISE DA ILHA DE CALOR ATMOSFÉRICA E SUPERFICIAL NOTURNAS EM PRESIDENTE PRUDENTE (SP)

Danielle Cardozo Frasca Teixeira ¹
Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim ²

INTRODUÇÃO

O calor urbano é um dos fenômenos mais referenciados na literatura científica que se dedica à climatologia em fina escala. Deriva da interferência humana na atmosfera em virtude das profundas transformações colocadas na superfície pela urbanização que condicionam o balanço de energia (Landsberg, 1981).

A materialidade urbana impõe a substituição massiva das superfícies permeáveis por impermeáveis, aproximando as edificações que utilizam amplamente materiais construtivos estanques e poucos evaporativos, além de suprimir a cobertura vegetal, condições criadas pela artificialidade urbana que alteram o balanço de energia na interface da superfície com a camada inferior da atmosfera (Jensen, 2009; Oke *et al.*, 2017). Tais condições somadas a repercussão dos tipos de tempo (Monteiro, 1971) podem favorecer o aparecimento de núcleos de maior aquecimento urbano reconhecidos como ilhas de calor de superfície (ICU_{superf}) (Voogt; Oke, 2003), mas também de ilhas de calor urbanas da atmosfera inferior, que se formam no nível do dossel urbano, o *urban canopy layer* (ICU_{ucl}) (Oke *et al.*, 2017).

Em se tratando das ICU_{superf} , se definem pelos alvos da superfície que aquecem mais do que os arredores urbanos e rurais. Quanto às ilhas de calor atmosféricas, constituem colunas de ar mais aquecido, produzidas pelas atividades antropogênicas em núcleos que são contrastantes com a camada de ar mais frio do entorno imediato e das áreas rurais (Oke *et al.*, 2017).

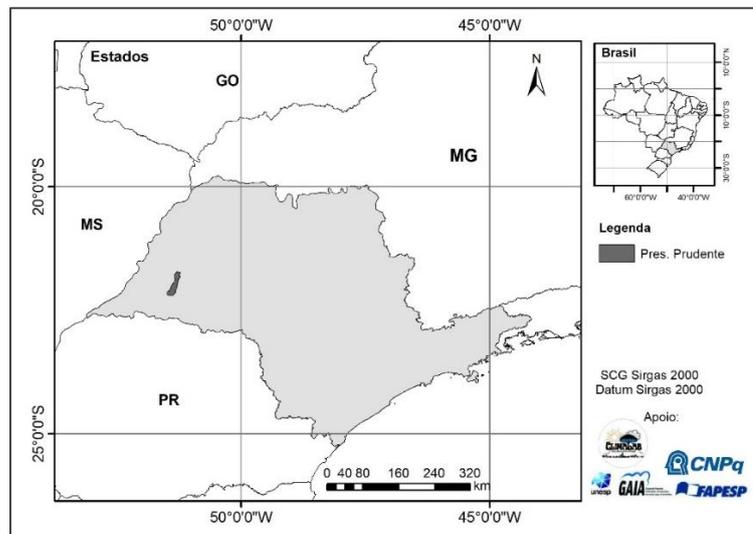
Considerando a relevância do tema e dos estudos em fina escala, a presente contribuição analisa comparativamente as intensidades da ICU_{ucl} e da ICU_{superf} de

¹Docente, Departamento de Geografia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente (SP), danielle.frasca@unesp.br

²Docente, Departamento de Geografia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente (SP), margarete.amorim@unesp.br

Presidente Prudente (Amorim, 2018) (Figura 1) a partir de um episódio de monitoramento climático tomando para isso as temperaturas medidas *in situ* e a temperatura dos alvos da área de interesse. Localizada em área de ocorrência do clima tropical do tipo Aw, naturalmente marcado pela definição de uma estação do ano seca e amena e outra quente e chuvosa (Dubreuil *et al.*, 2017), Presidente Prudente é uma cidade de porte médio que conta com 225.668 habitantes³ (IBGE, 2022) situada na região Oeste do Estado de São Paulo.

Figura 1: Localização da área de estudo



Fonte da Base Cartográfica: IBGE (2022). Elaboração: as autoras (2024).

Na latitude em que a cidade se localiza a preocupação com os fenômenos climáticos justifica-se, pois, as manifestações da atmosfera condicionam a vida humana e das demais espécies, influenciando no conforto térmico dos seres vivos (Lauwaet *et al.*, 2020). No ambiente tropical essa preocupação científica é legitimada pelas condições naturais dos climas regionais que são fortemente marcados pelas elevadas temperaturas e pela distribuição irregular das precipitações.

REFERENCIAL TEÓRICO

³ Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/presidente-prudente/panorama> Acesso em: 24 jul. 2024.

As ilhas de calor são fenômenos climáticos que se formam na escala local do clima, produtos do subsistema termodinâmico (Monteiro, 1976) que se definem como a modificação térmica em favor das áreas densamente edificadas em contraste síncrono com as temperaturas rurais a depender de condições meteorológicas garantidoras de estabilidade atmosférica.

Para se avaliar os núcleos urbanos mais aquecidos, tanto do ar como dos alvos, toma-se como referência as áreas verdes urbanas e as áreas rurais circundantes (Fernandez Garcia, 1996), que são explicativas da sua variação espacial.

Tal fenômeno climático pode ser diagnosticado a partir de intensidades e magnitudes dependentes do porte da cidade e das condições meteorológicas dominantes, que explicam parcialmente sua variabilidade temporal, juntamente com os ciclos diários e sazonais. Quanto à sua espacialidade, a variação se faz mediante a anternância das feições e estruturas urbanas e a comparação com as feições construídas e não construídas, assumidas pelo rural circunvizinho (Fernández García, 1996).

Esse fenômeno climático urbano ocorre em cidades de todos os portes populacionais, comprometendo o conforto térmico e a saúde humana, especialmente nas regiões de ocorrência do clima tropical (Teixeira, 2019). Nos países de climas frios, a ICU pode representar um efeito benéfico para a amenização do frio das habitações (Gartland, 2010).

A preocupação científica com o calor urbano é relevante, especialmente diante de eventos climáticos extremos em que se destacam as ondas de frio e de calor, além do excesso ou escassez das chuvas ameaçadoras da qualidade de vida e da habitabilidade urbana (Lauwaet *et al.*, 2020).

A gênese das ICU se explica pelo trânsito de energia no sistema superfície-atmosfera que é dado pela transmissão do calor através da radiação de ondas curtas e ondas longas e mais propriamente, do balanço entre o que é absorvido e refletido pela diversidade de superfícies (urbanas e não-urbanas).

Portanto, as diferenças de feições superficiais possuem maior ou menor capacidade de retenção térmica a depender do seu albedo (Gartland, 2010). Comparadas em simultaneidade, as diferenças térmicas entre as áreas urbanas densamente construídas e as áreas rurais abertas podem estabelecer o padrão de configuração das ICU_{ucl} , especialmente em condições de tempo estável, definidas pelos ventos fracos e pelo céu claro. Essa diferenciação simultânea entre áreas - que é a ICU_{ucl} - pode ser quantificada e qualificada em intensidades e magnitudes, respectivamente (Fernandez García, 1996).

MATERIAIS E MÉTODOS

Na fina escala de detalhamento, os estudos climáticos que se voltam para a termodinâmica se beneficiam de técnicas diretas de observação. Nesses casos, os registros de dados primários ocorrem por medidas *in situ* da temperatura do ar, mas também por imagens do canal termal de satélites (Monteiro, 1976), que foram as opções metodológicas do presente estudo.

De modo a registrar dados da temperatura do ar nas vias públicas desobstruídas procedeu-se à tomada de dados pelo procedimento do transecto móvel (Amorim, 2005) em monitoramento noturno, período do dia que favorece a detecção das ilhas de calor, especialmente aquelas traçadas no perfil clássico (Amorim, 2020; Oke, 1978).

A aquisição de dados primários ocorreu no dia 09 de maio de 2024 valendo-se de dois veículos que percorreram a uma velocidade máxima de 30 km/h os trajetos no sentido Sul-Norte e Leste-Oeste da malha urbana de Presidente Prudente, totalizando 82 registros tomados a equidistância de 300 metros. O procedimento iniciou-se às 21 horas (Hora Local) com duração de 50 minutos para que a atmosfera não experimentasse profundas alterações.

Foram utilizados dois registradores multifuncionais (Testo 435), equipados com uma sonda de velocidade de fluxo (Testo 0635 1535), com uma precisão de $\pm 0,3$ °C. Em complementariedade, para analisar a superfície urbana, optou-se pela utilização de uma imagem do satélite Landsat 9⁴, sensor OLI_TIRS, (no espectro do infravermelho termal) de captura noturna no dia próximo ao da realização do transecto móvel. Foi considerada a imagem da varredura realizada em 12 de maio às 23h50 (hora local), com resolução espacial corrigida de 30 metros (ponto 104/órbita 169). A imagem torna-se representativa do período do trabalho de campo, pois não houve alteração no sistema atmosférico na área de estudos, que estava sob o efeito de uma massa de ar polar tropicalizada (PT), caracterizando um bloqueio atmosférico que permaneceu por vários dias na região, tendo as temperaturas máximas nos valores de 33,1°C no dia 09/05 e 33,04°C no dia 12/05 e as mínimas nos valores de 22,7°C e 20,8°C nos dias 09 e 12 de maio, respectivamente.

As temperaturas dos alvos foram conhecidas através do processamento digital da imagem cujos níveis digitais de cinza (ND) foram convertidos para temperatura radiante

⁴ Fornecida pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos, USGS. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/> Acesso em: 23 jul. 24

a partir dos respectivos coeficientes de redimensionamento fornecidos pelo *handbook*⁵ do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS).

Da carta termal as temperaturas superficiais foram extraídas por ponto de registro em campo. A partir das informações ponto a ponto, foram obtidas as intensidades da ICU_{superf} e da ICU_{ucl} , aplicando-se a fórmula:

$$\Delta T = T^{\circ}C \text{ urbano} - T^{\circ}C \text{ rural} \quad (1)$$

Onde,

ΔT , é a intensidade da ICU;

$T^{\circ}C$ urbano foram as temperaturas registradas na área urbana;

$T^{\circ}C$ rural foram as temperaturas medidas na área rural.

Por meio de análise estatística de regressão linear simples, mensurou-se o grau de relação entre as variabilidade da temperatura do ar e dos alvos, partindo-se do pressuposto de que a identificação das superfícies (alvos) mais aquecidas contribuem para a localização de áreas potenciais para a configuração de ilhas de calor atmosférica (Teixeira e Amorim, 2022)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As ΔT da ICU_{ucl} e da ICU_{superf} no episódio de monitoramento climático são exibidas na figura 2 comprovando que existiram núcleos aquecidos nos níveis da atmosfera e da superfície. As temperaturas do ar e das superfícies estabeleceram correlação linear fortemente positiva ($r = 0,99$) (Ferreira, 2014) o que sugere que áreas com temperaturas superficiais elevadas tendem a apresentar temperaturas atmosféricas mais elevadas.

As maiores ΔT foram reconhecidas na configuração da ICU_{ucl} , claramente posicionadas nas áreas densamente construídas tanto no centro como na borda Oeste da malha urbana ($\Delta T = 8^{\circ}C$) que é um segmento urbano que ao entardecer se expõe mais à incidência solar do que o setor leste.

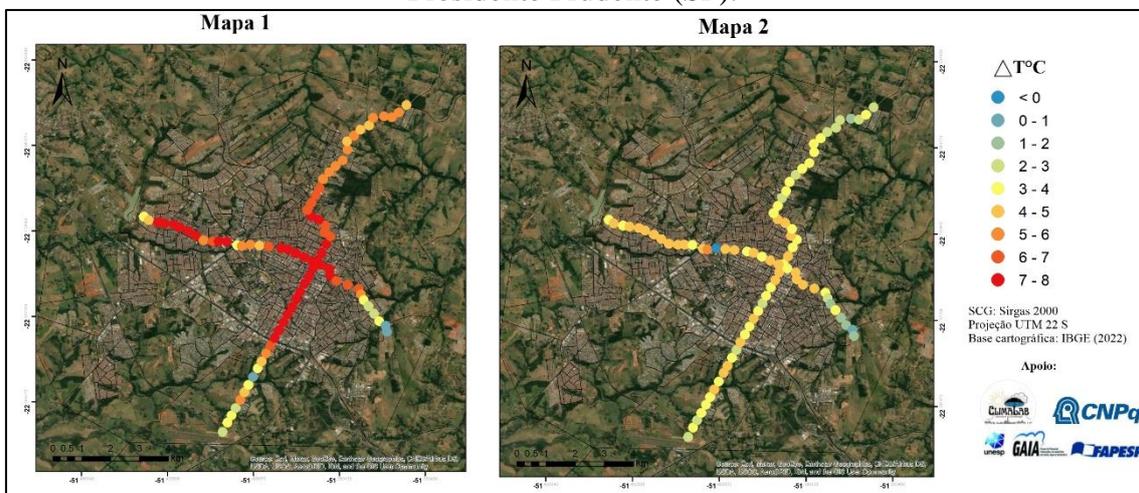
Quanto as ICU_{superf} , a ΔT máxima foi de $5^{\circ}C$ que se posicionaram sob áreas de maior ΔT da ICU_{ucl} . As áreas abertas, providas de vegetação demonstraram menores ΔT , bem como menor variação entre as ΔT da ICU_{ucl} e da ICU_{superf} .

⁵ Arquivo de metadados.

Tais resultados comprovam que a maioria dos materiais urbanos presentes na superfície (alvos) são majoritariamente pouco evaporativos, possuem menor capacidade térmica e, por isso, necessitam de pouca energia para se aquecer na presença da radiação. Contudo, após o pôr do sol, os componentes superficiais urbanos não conservam a energia, favorecendo o transporte do calor em superfície para a atmosfera adjacente. Assim, comparativamente, a atmosfera se torna mais aquecida do que as superfícies no período noturno (Gartland, 2010).

Diferentemente, as áreas de cobertura vegetal mostraram menor variação entre a temperatura do ar e da superfície, seja por fazerem a interceptação da radiação, seja por possuírem maior capacidade térmica. Isso posto, explica-se que a vegetação demora a se aquecer por possuir maior capacidade térmica, mas também retarda o seu resfriamento, mantendo as temperaturas ar-superfície mais constantes. Esse cenário pode ser visualizado nas extremidades dos trajetos, notadamente ao Sul, Leste e Oeste da malha urbana, onde predominam áreas verdes e abertas que mostraram ΔT ar-alvo aproximadas que atingiram até 3°C .

Figura 2: Intensidades da ICU_{ucl} (mapa 1) e da ICU_{superf} (mapa 2) noturnas de Presidente Prudente (SP).



Elaboração: as autoras (2024)

Com relação à variabilidade da ICU_{ucl} , além de maiores ΔT , existe nestas maior sujeição à variações de valores, em função da diversidade de materiais componentes da superfície. Os resultados comprovam a configuração do perfil clássico noturno da ICU_{ucl} que se dá pelo resfriamento dos materiais urbanos cerca de 3 horas após o pôr do sol, justamente no horário definido para a presente observação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na presente contribuição, a análise simultânea noturna entre a ICU_{ucl} e a ICU_{superf} constatou que no nível inferior da atmosfera as ilhas de calor se sobressaem em relação aos alvos em resposta ao resfriamento das superfícies urbanas nas horas seguintes ao pôr do sol. Houve menor variação entre a temperatura do ar medida e a temperatura superficial nas áreas abertas, desprovidas de construções, cujas superfícies são caracterizadas pela vegetação rasteira.

Diferentemente, as áreas construídas, possuem menor capacidade térmica, assumindo desvios maiores entre a temperatura do ar e da superfície. Dessa forma, são os materiais urbanos as principais fontes de aquecimento que modulam a transferência de calor para a atmosfera, corroborando o perfil clássico da ICU_{ucl} noturna em Presidente Prudente, comprovado por Amorim (2020).

Diagnósticos dessa natureza ressaltam a importância que as áreas verdes assumem na composição da paisagem urbana para promover o equilíbrio térmico das cidades. No entanto, o que se presencia é a supressão das áreas verdes em decorrência da forte pressão pela produção do espaço urbano.

Esses são os enfrentamentos colocados em tela pela contemporaneidade, que revelam urgência de gerenciamento, especialmente se considerarmos as notáveis alterações climáticas da escala local, assim como o aumento da frequência dos eventos climáticos extremos como as secas, as ondas de frio e as ondas de calor que potencializam os efeitos das ICU (Short; Farmer, 2021).

Palavras-chave: Clima urbano, Subsistema Termodinâmico, Ilhas de calor atmosféricas, Ilhas de calor superficiais.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro, Processos: 407511/2023-7 e 304031/2022-4.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), processo: 2023/13293-8.

REFERÊNCIAS

AMORIM, M. C. de C. T. Intensidade e forma da ilha de calor urbana em Presidente Prudente (SP): episódios de inverno. **Geosul**, Florianópolis, v. 20, n. 39, p. 65-82, 2005.

AMORIM, M. C. de C. T. Spatial variability and intensity frequency of surface heat island in a Brazilian city with continental tropical climate through remote sensing. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, n. 9, p. 10-16, 2018.

AMORIM, M. C. C. T. **Ilhas de calor em cidades tropicais de médio e pequeno porte: teoria e prática**. 1. Ed. Curitiba: Appris, 2020.

DUBREUIL, V.; FANTE, K.P.; PLANCHON, O.; SANT'ANNA NETO, J.L. Climate change evidence in Brazil from Köppen's climate annual types frequency. **Int. J. Climatol**, n. 1, p. 1-14, 2018.

FERNÁNDEZ GARCÍA, F. **Manual de climatología aplicada: clima, medio ambiente y planificación**. Madrid: Síntesis, 1996.

GARTLAND, L. **Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. São Paulo: Oficinas de Textos, 2010.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução: José Carlos Neves Epiphânio. et al. São José dos Campos: Parênteses, 2009.

LAUWAET, D.; MAIHEU, B.; DE RIDDER, K.; BOËNNE, W.; HOOYBERGHS, H.; DEMUZERE, M.; VERDONCK, M.L. A New Method to Assess Fine-Scale Outdoor Thermal Comfort for Urban Agglomerations. **Climate**, v. 8, 6, p. 1-13. 2020.

MONTEIRO, C. A. de F. **Análise rítmica em climatologia**. São Paulo: IGEOG/USP, 1971.

MONTEIRO, C. A. de F. **Teoria e clima urbano**. São Paulo: IGEOG/USP, 1976.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 4. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2010.

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. 2nd ed. London: Methuen; New York: John Wiley & Sons, 1987

OKE, T.R.; MILLS, G.; CHRISTEN, A.; VOOGT, J.A. **Urban Climates**. Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2017.

SHORT, J.R.; FARMER, A. Cities and Climate Change. **Earth**, n. 2, p. 1038-1045, 2021.

TEIXEIRA, D.C.F; AMORIM, M. C. C. T. Multicriteria Spatial Modeling: Methodological Contribution to the Analysis of Atmospheric and Surface Heat Islands in Presidente Prudente, Brazil. **Climate**, v. 10, p. 1-17, 2022.

TEIXEIRA, D. C. F. **O clima urbano de cidades de pequeno porte do Oeste paulista: análise do perfil térmico de Presidente Venceslau, Santo Anastácio e Álvares Machado**,



Brasil. 2019. 238p. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente - SP, 2019.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). [Imagem Landsat9]: USGS, 2024. Lat. 21°40'31" S Long 50°49'08" W. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em 08 ago. 2024.