

A INFLUÊNCIA DA VEGETAÇÃO URBANA NO COMPORTAMENTO TÉRMICO MICROCLIMÁTICO DE UM BAIRRO LITORÂNEO EM MACEIÓ-ALAGOAS.

THE INFLUENCE OF THE URBAN VEGETATION ON THE MICROCLIMATIC THERMAL BEHAVIOR OF A COASTAL NEIGHBORHOOD IN MACEIÓ-ALAGOAS.

SANTOS, JÚLIA; SANTOS, RHUAN; BARBOSA, RICARDO; PEREIRA, JÉSSICA.

RESUMO

A vegetação assume função preponderante na configuração da estrutura urbana, especialmente em cidades tropicais de baixa latitude, onde a exposição intensa à radiação solar durante todo o ano torna o sombreamento uma estratégia essencial para a obtenção do conforto térmico. Dessa forma, é fundamental compreender o efeito da vegetação urbana em cânions verticalizados na criação de condições térmicas propícias ao conforto em espaços abertos. Diante disso, a presente investigação objetivou analisar a influência da vegetação urbana na temperatura do ar em cânions verticalizados de uma cidade tropical litorânea de baixa latitude, por meio de uma análise comparativa da temperatura do ar em dois pontos amostrais localizados no bairro da Ponta Verde, em Maceió-AL. A campanha de monitoramento foi conduzida durante o verão, próximo ao solstício, com registros horários de temperatura do ar a uma altura média de 3,5m em relação ao solo. Os resultados evidenciaram consideráveis variações térmicas entre os pontos amostrais, principalmente durante os horários de maior aquecimento do ar no interior dos cânions analisados. A presença de vegetação arbórea ocasionou uma redução de 2,5°C na temperatura do ar, propiciando condições microclimáticas mais favoráveis ao conforto térmico em ambientes externos.

ABSTRACT

Vegetation plays a crucial role in shaping the urban structure, particularly in low-latitude tropical cities, where intense exposure to solar radiation throughout the year makes shading an essential strategy to achieve thermal comfort. Hence, understanding the impact of urban vegetation in vertically walled canyons on creating favorable thermal conditions in open spaces becomes paramount. Therefore, the present investigation aimed to analyze the influence of urban vegetation on air temperature in vertically walled canyons of a low-latitude tropical coastal city through a comparative analysis of air temperature at two sampling points located in the Ponta Verde neighborhood, Maceió-AL. The monitoring campaign was conducted during the summer, around the solstice, with hourly records of air temperature at an average height of 3.5m above ground level. The results revealed significant thermal variations between the sampling points, especially during peak warming hours within the analyzed canyons. The presence of arboreal vegetation led to a 2.5°C reduction in air temperature, providing more favorable microclimatic conditions for thermal comfort in outdoor environments.

Palavras-chave: Áreas Verdes, Clima Urbano, Arborização Urbana, Clima Tropical, Cânion Urbano.

Key-words: Green Areas, Urban Climate, Urban Afforestation, Tropical Climate, Urban Canyon.

1. INTRODUÇÃO

A expansão urbana desordenada contribui significativamente para o aumento da temperatura do ar nas cidades, intensificando o fenômeno conhecido como ilha de calor urbana (Chow, 2006; Battista *et al.*, 2016; Neres, 2021). A ilha de calor urbana (ICU) é tipicamente definida como a diferença de entre a temperatura do ar e da superfície de uma área urbana e seus arredores, com características suburbanas ou rural (Oke, 1995). A ocorrência de ilhas de calor urbano tem sido registrada e estudada em várias cidades brasileiras, desde capitais, a exemplo de Fortaleza-CE (Barboza, 2020), até cidades de pequeno porte, como São Anastácio-SP (Teixeira; Amorim, 2021).

De acordo com Arnfield (2013), o aumento da absorção de radiação de ondas curtas, do armazenamento de calor sensível, da produção antrópica de calor e das menores taxas de evapotranspiração são fatores da dinâmica urbana que contribuem para a formação das ilhas de calor – fenômeno especialmente preocupante em cidades de clima tropical. Assim, é necessário refletir sobre a aplicação de estratégias que possam mitigar este fenômeno com vistas a reduzir o estresse térmico e o desconforto por calor nas cidades tropicais (Brandão; Barbosa; Torres, 2023).

Nesse contexto, diversos estudos têm apontado estratégias para mitigação do calor urbano, como a adoção de pavimentos frios e aumento das áreas verdes/vegetação para a mitigação da ICU e seus efeitos adversos (Brandão; Barbosa, 2023; Pereira; Barros; Barbosa, 2023; Vollaro *et al.*, 2016; Gago *et al.*, 2013; Chow; Brazel, 2012). Sabe-se que com uso de materiais de superfície de alto albedo e da vegetação, aumenta-se a refletividade da energia solar e reduzindo, consequentemente, a parcela de radiação absorvida, melhorando, consequentemente, a qualidade térmica no ambiente urbano (Lee, 2020).

Dessarte, a vegetação destaca-se como estratégia bioclimática para promover a redução da temperatura do ar em ambientes urbanos, haja vista que este elemento, especialmente as espécies de porte arbóreo, são capazes de alterar o microclima urbano por meio de mudanças na temperatura do ar e proporcionar benefícios físicos a partir da diminuição da incidência de radiação solar direta sobre as superfícies (Pereira; Barbosa, 2023; Meili *et al.*, 2021; Pereira; Brandão; Barbosa, 2021; Martelli; Santos Júnior, 2015). Assim, é possível afirmar que a arborização pode contribuir para o resfriamento nos cânions urbanos¹ por meio do sombreamento e do processo de evapotranspiração.

O sombreamento é uma estratégia importante, sobretudo em regiões de clima tropicais de baixa latitude, onde a incidência de radiação solar é alta durante todo o ano (Ayres, 2004). Apesar das árvores não

¹Os cânions urbanos são caracterizados pela presença de duas fachadas de edifícios paralelos tendo uma rua entre estes. Nesse sentido, variam conforme a altura dos edifícios e a largura da rua, podendo ser definidos como profundos ou rasos.

bloquearem toda a radiação solar direta, o sombreamento pode ser eficiente na redução da radiação térmica, reduzindo o nível de calor na área sombreada (Lee *et al.*, 2020). Assim, a ocorrência de sombreamento contribui para a melhoria das condições térmicas ambientais, por meio da atenuação das temperaturas elevadas (Ayres, 2004; Mayer *et al.*, 2006; Pereira; Barbosa, 2019; Tan *et al.*, 2021). Nesse sentido, a vegetação arbórea assume papel de destaque, tornando-se elemento estratégico para o planejamento das cidades. Além do efeito de sombreamento, a arborização pode contribuir para o efeito de canalização dos ventos, atuando no resfriamento das superfícies e na moderação da velocidade do ar nos microclimas urbanos, proporcionando brisas locais ao nível do solo (Costa Filho, 2017).

Face o exposto, o presente trabalho teve como objetivo analisar a influência da vegetação urbana na temperatura do ar em cânions verticalizados em cidade tropical litorânea de baixa latitude, por meio de análise comparativa da temperatura do ar em dois pontos amostrais localizados no bairro da Ponta Verde, em Maceió-AL, tomada como estudo de caso nesta investigação.

2. MATERIAIS E MÉTODO

2.1 Caracterização da área de estudo

A cidade de Maceió (9° 39' 59" S, 35° 44' 6" O), capital do estado de Alagoas, localiza-se na Costa Leste do Brasil, situada na região litorânea do Nordeste brasileiro, às margens do Oceano Atlântico (Figura 1). Maceió possui uma população estimada de 1.031.597 habitantes, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2021). Considerando a classificação climática de Strahler, a cidade apresenta clima tropical quente e úmido (Nascimento *et al.*, 2016), sob a ação direta da Massa Tropical Atlântica, e clima do tipo As', de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger (Alvares *et al.*, 2013). De acordo com as Normas Climatológicas de 1981-2010 (INMET, 2022), apresenta temperatura do ar média anual de 25,1 °C e índice pluviométrico de 1867,4 mm/ano. A média anual da umidade relativa do ar é de 78,4%, com média mínima de 74,9%, no mês de dezembro (quadra seca), e média máxima de 83,1%, no mês de junho (quadra chuvosa) (Silva, 2019). O regime de vento caracteriza-se com direção predominantes de Leste, com direção secundária de Sudeste (Silva; Barbosa, 2022).

A região apresenta baixa amplitude térmica, sejam diárias, estacionais ou anuais, onde se compreende dois períodos climáticos definidos: estação quente, com temperaturas elevadas (até 31,5 °C) e baixa pluviosidade (80,2 mm); e estação chuvosa, com temperaturas amenas (até 27,6 °C) e elevada pluviosidade (322,8 mm) (INMET, 2023).

De acordo com a NBR 15.220-3 (ABNT, 2005), Maceió está inserida na Zona Bioclimática 8 e, nesse íterim, segundo Silva (2019), as estratégias bioclimáticas indicadas para o município, durante todo o ano, são: ventilação e sombreamento.

Figura 1 - Localização de Maceió, no litoral do estado de Alagoas, na região nordeste do Brasil.
 Fonte: SEPLAG/AL (2021). Adaptado pelos autores.



O estudo foi realizado no bairro Ponta Verde, localizado na planície litorânea (Figura 2). O bairro apresenta verticalização consolidada, com macrozoneamento urbano em área de adensamento controlado (Maceió, 2006), sendo considerado um dos bairros mais valorizados da cidade, pelos edifícios residenciais de alto padrão e forte presença dos setores hoteleiro e gastronômico, além de ter ao longo de sua extensão territorial a orla marítima fortemente explorada pelo turismo.

Figura 2 - Localização do bairro Ponta Verde na cidade de Maceió, com registros fotográficos da área de estudo.
 Fonte: GIS Maps (2017), Cavalcante [s.d.], Ramos (2016). Adaptado pelos autores.



2.2 Pontos Amostrais

Foram monitorados pontos amostrais em duas importantes avenidas no bairro de Ponta Verde (Figura 3). Ambas as avenidas possuem orientação Leste-Oeste, presença de edifícios verticalizados de uso residencial e misto e alto tráfego de veículos leves e pesados. Os pontos amostrais estão localizados nas primeiras quadras próximo à orla marítima e distinguem-se pela diferença significativa quanto à presença de vegetação arbórea.



Figura 3 - Localização no mapa das Av. Prof. Sandoval Arroxelas e Av. Dep. José Lages.
 Fonte: Google Earth Pro, 2022. Adaptado pelos autores.

O ponto amostral na Avenida Sandoval Arroxelas caracteriza-se por sua localização em cânion composto por prédios de até 9 pavimentos, incluindo os pilotis. As edificações são revestidas de material cerâmico em tons claros e escuros, com janelas em fita e presença de vegetação em alguns pavimentos.

A base do cânion caracteriza-se por calçadas com largura média de 2m em ambos os lados da rua, duas pistas de rolamento com largura de 7m separadas por um canteiro central arborizado com 5,35m de largura (Figura 4). A Avenida Sandoval Arroxelas foi selecionada como ponto amostral com presença de vegetação arbórea (CV).

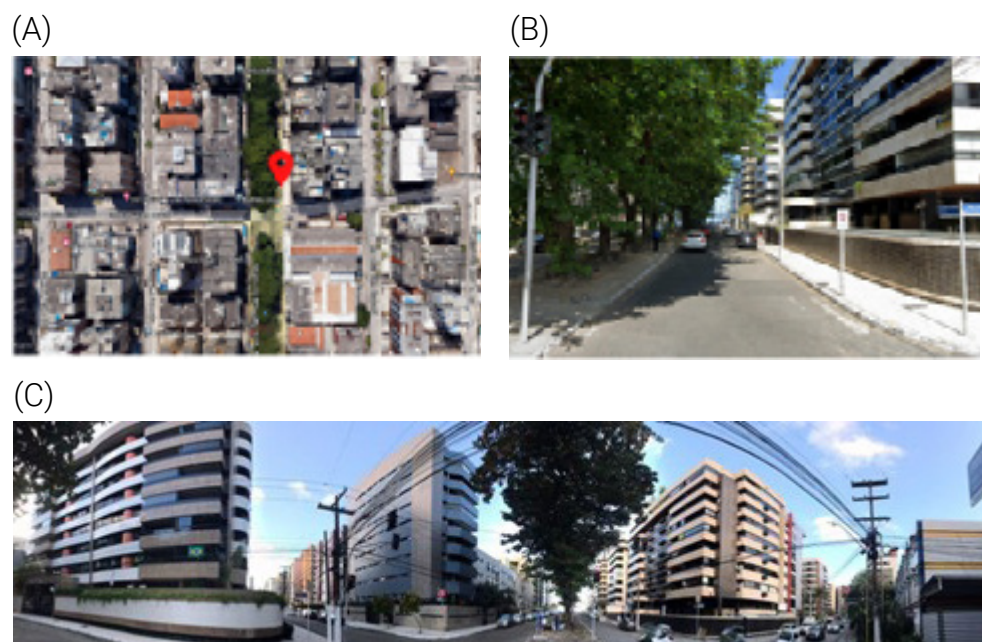


Figura 4 - (A) Localização do ponto no canteiro central vegetado localizado na Avenida Prof. Sandoval Arroxelas; (B) Vista do local de monitoramento na altura do pedestre (C); Vista panorâmica do cânion urbano.
 Fonte: (A) Google Earth Pro, adaptado pelos autores; (B) e (C) de arquivo pessoal, 2022.

O ponto amostral na Avenida Deputado José Lages caracteriza-se por sua localização em cânion composto por prédios de até 10 pavimentos, incluindo os pilotis. As edificações são revestidas em pastilhas e cerâmicas em tons claros e escuros. A base do cânion caracteriza-se por calçadas com largura média de 2m em ambos os lados da rua, sem vegetação, e uma única pista de rolamento com largura de 3,20m (Figura 5). A Avenida Deputado José Lages foi selecionada como ponto sem vegetação arbórea (SV).



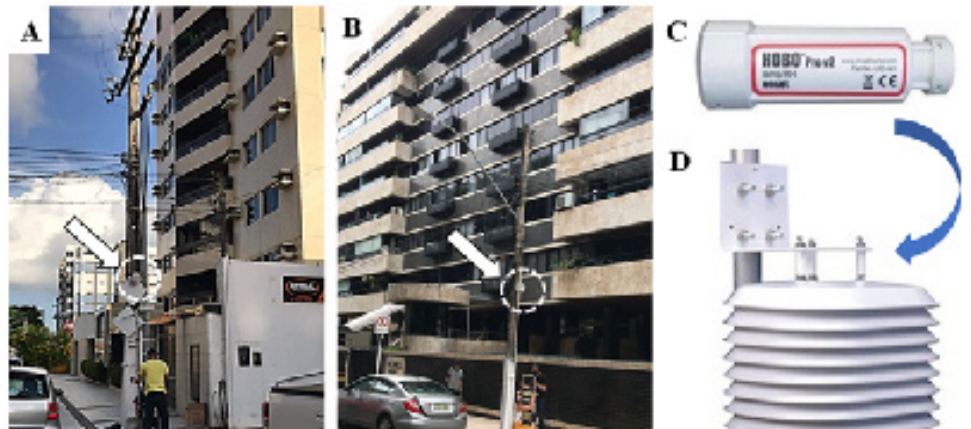
Figura 5 - (A) Localização do ponto no canteiro central vegetado localizado na Avenida Prof. Sandoval Arroxelas; (B) Vista do local de monitoramento na altura do pedestre (C); Vista panorâmica do cânion urbano.

Fonte: (A) Google Earth Pro, adaptado pelos autores; (B) e (C) de arquivo pessoal, 2022.

2.3 Campanha de monitoramento

A campanha de monitoramento foi realizada no período de 12 de dezembro de 2021 a 15 de janeiro de 2022, totalizando 35 dias no período do solstício de verão. O registro de dados foi feito em um único ponto de monitoramento em cada cânion urbano, com o auxílio de registradores de temperatura e umidade relativa do ar, marca HOBO Onset, modelo U23-001, protegido da radiação solar direta e precipitação por protetores Shield, modelo RS1, instalados em postes de iluminação pública a uma altura média de 3,5m do solo (Figura 6). O sensor de temperatura apresenta intervalo de operação de -40°C a 70°C, com precisão de 0,02 °C a 25 °C, enquanto o sensor de umidade relativa, um intervalo de operação de 0 a 100%, com precisão de +/- 2,5% de 10% para 90%. Os equipamentos foram programados para realizar registros contínuos em intervalo horário.

Figura 6 - Instalação dos equipamentos HOBO Onset, modelo U23-001 (C) protegidos da radiação solar direta e precipitação por protetores Shield, modelo RS1 (D) em postes de iluminação pública na Av. Prof. Sandoval Arroxelas (A) e na Av. Dep. José Lages. (B).
 Fonte: Arquivo pessoal, 2022 (A, B); site Onset, 2022 (C, D).

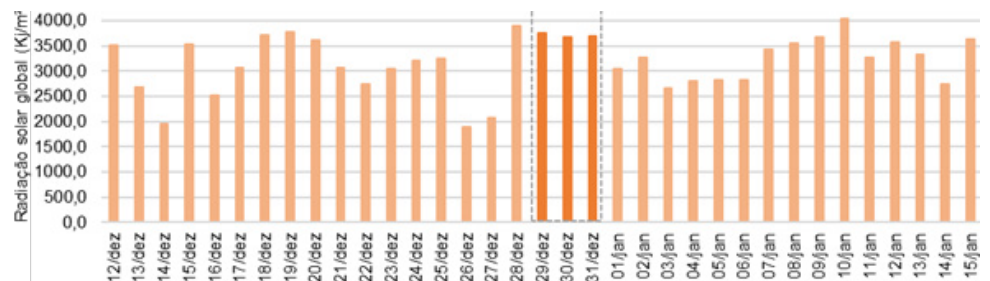


2.4 Delimitação do Período de Análise

Para delimitação do período de análise, foram obtidos dados climáticos registrados pela estação automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2022), localizada no Campus da Universidade Federal de Alagoas, em Maceió. Os dados são disponibilizados eletronicamente em intervalos horários e foram usados para selecionar três dias representativos do período de verão, quente e úmido, com características de céu claro e ar calmo, entre os 35 dias compreendidos na campanha de monitoramento. Dessa forma, foram analisadas conjuntamente três variáveis climáticas: (a) máxima radiação solar global, para identificação dos dias de céu claro; (b) média da velocidade do vento, para identificação de dias com ar calmo; e (c) pluviosidade, para identificação de dias sem ocorrência de chuvas.

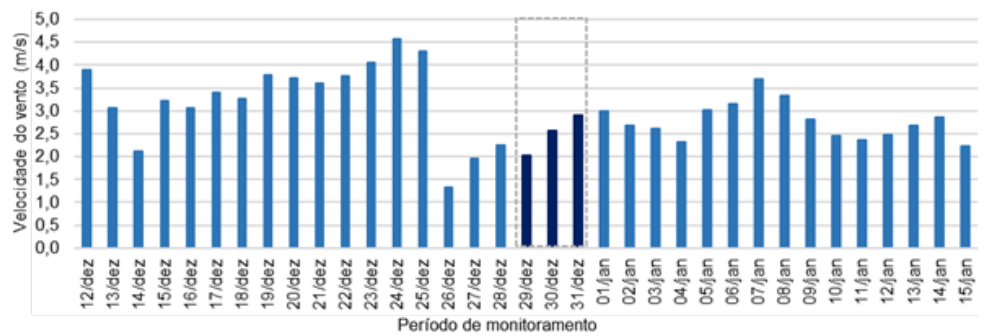
Quanto à máxima radiação solar global (Gráfico 1), os dias 29, 30 e 31 de dezembro mostraram índices elevados de radiação, com máxima de 3161,3Kj/m², 3682,4Kj/m² e 3698,4Kj/m², respectivamente.

Gráfico 1 - Dados de radiação solar global (Kj/m²) registrados pela estação automática do INMET em Maceió no período de 12/12/21 a 15/02/22, com destaque para os dias selecionados.
 Fonte: INMET. Adaptado pelos autores.



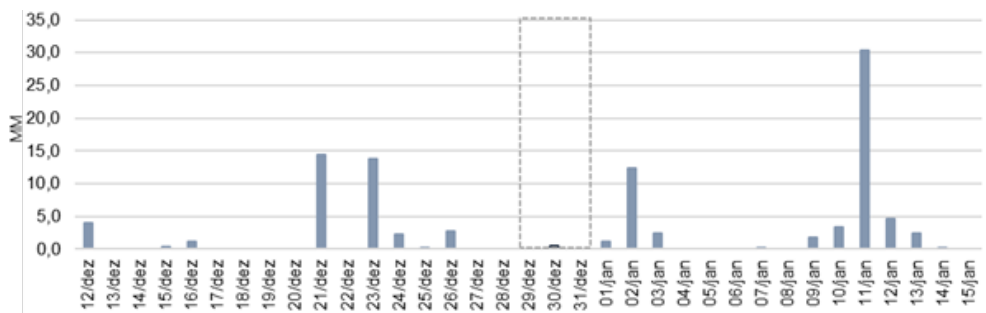
O Gráfico 2 apresenta a média diária de velocidade dos ventos registrados pela estação do INMET no período de monitoramento. Considerando que para análise microclimática é recomendado dias de ar calmo ou baixa velocidade de vento, foram selecionados os dias 29, 30 e 31 de dezembro, os quais apresentaram, 2,0m/s; 2,6m/s e 2,9m/s, respectivamente.

Gráfico 2 - Média da velocidade dos ventos (m/s) registrados pela estação automática do INMET em Maceió no período de 12/12/21 a 15/02/22, com destaque para os dias selecionados. Fonte: INMET. Adaptado pelos autores.



Os dados de precipitação registrados pela estação do INMET são apresentados no Gráfico 3. Para a escolha dos dias a serem utilizados na presente investigação, foram selecionados dias sem ocorrência de precipitação, uma vez que o intuito consistia em analisar a influência da vegetação em dias quentes, representativo do período de verão na cidade.

Gráfico 3 - Dados de precipitação na cidade de Maceió registrados no período de 12/12/21 a 15/02/22, com destaque para os dias selecionados. Fonte: INMET. Adaptado pelos autores.



Assim, considerando a combinação entre as três variáveis climáticas, os dias 29, 30 e 31 de dezembro foram selecionados como período de análise, ainda que no dia 30 de dezembro tenha ocorrido leve precipitação (0,2mm) às 7h da manhã.

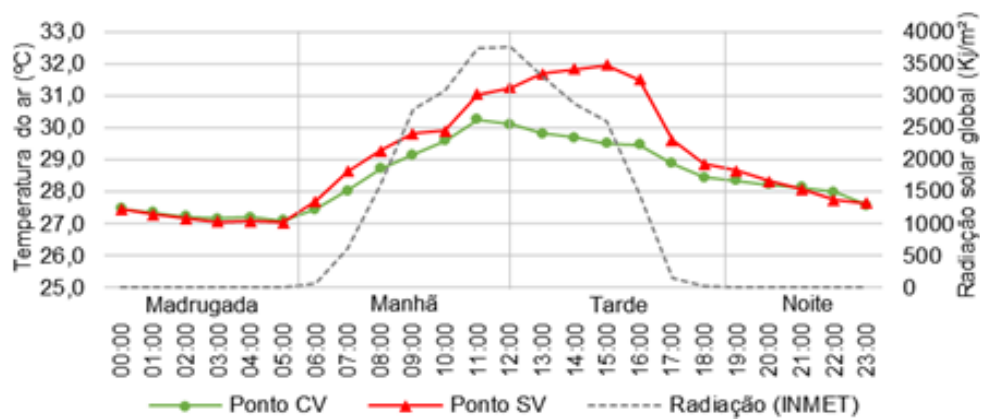
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos resultados foi realizada considerando a variação térmica em cada um dos três dias selecionados. O Gráfico 4 mostra a variação da temperatura do ar nos pontos amostrais com vegetação arbórea (CV) e sem vegetação arbórea (SV), correlacionando com os níveis de radiação solar no dia 29 de dezembro de 2021.

Os dados registrados mostram que, durante o período da madrugada, ambos os pontos amostrais apresentaram variações térmicas semelhantes, registrando temperatura do ar em torno dos 27°C, indicando não haver influência da vegetação nesses horários. Entretanto, durante o período matutino, foi possível verificar o processo de aquecimento

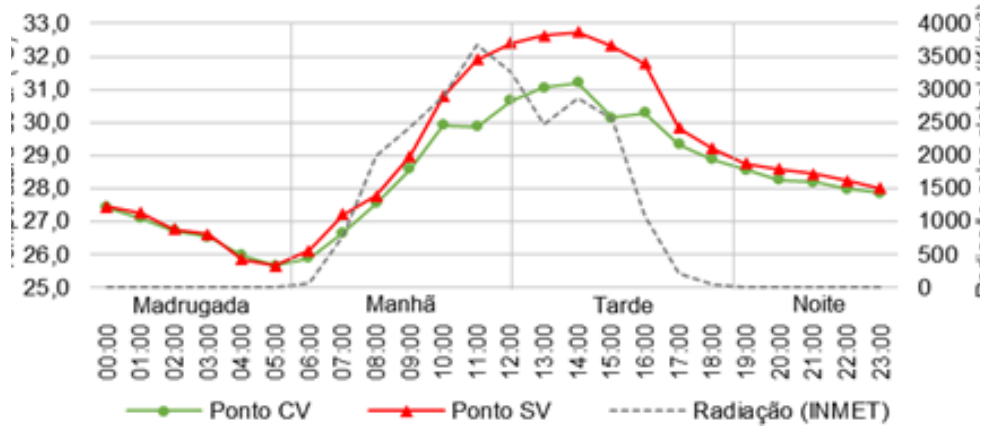
no ponto SV, o que pode ser justificado pela incidência intensa e contínua de radiação solar no interior do cânion urbano. Nesse processo, observou-se que o maior aquecimento do ponto CV ocorreu às 11h, tendendo à redução de temperatura do ar a partir desse horário, ao passo que o ponto SV continuou em processo de aquecimento do ar até às 15h. Esse resultado sugere a influência do sombreamento arbóreo na redução do aquecimento térmico no ponto CV, enquanto o aquecimento contínuo do ponto SV até o meio da tarde justifica-se pelo processo de absorção e liberação gradual de calor pelas superfícies impermeabilizadas no interior do cânion urbano, convertendo a radiação solar de onda curta em calor sensível reemitido para a atmosfera. Durante o período noturno, a variação térmica em ambos os pontos volta a ser semelhante a partir das 20h, uma vez que não há mais incidência de radiação solar direta, evidenciando o efeito do sombreamento arbóreo.

Gráfico 4 - Variação da temperatura do ar nos pontos CV e SV (à esquerda) e da radiação (à direita) no dia 29/12/21. Fonte: Elaboração dos autores.



O Gráfico 5 mostra a variação da temperatura do ar em ambos os pontos amostrais, correlacionando com os níveis de radiação solar no dia 30 de dezembro de 2021. Nesse dia, observou-se que, durante o período da madrugada, a variação térmica em ambos os pontos foi semelhante, como ocorrido no dia anterior, com valores variando de 27,4°C para 25,8°C em ambos os pontos analisados. Durante o período matutino até o início da tarde, os valores da temperatura do ar apresentaram processo contínuo de aquecimento em ambos os pontos, como esperado, devido à incidência de radiação solar. Entretanto, a intensidade de aquecimento em ambos os cânions foi distinta, sendo mais acelerado e intenso no ponto SV, chegando a uma diferença térmica de quase 2°C, às 11h, coincidindo com o horário de registro da máxima da radiação solar global nesse dia. Dessa forma, este resultado sugere uma forte influência da presença da vegetação de porte arbóreo, na redução do rigor térmico no interior do cânion urbano, por meio do sombreamento.

Gráfico 5 - Variação da temperatura do ar nos pontos CV e SV (à esquerda) e da radiação (à direita) no dia 30/12/21. Fonte: Elaboração dos autores.



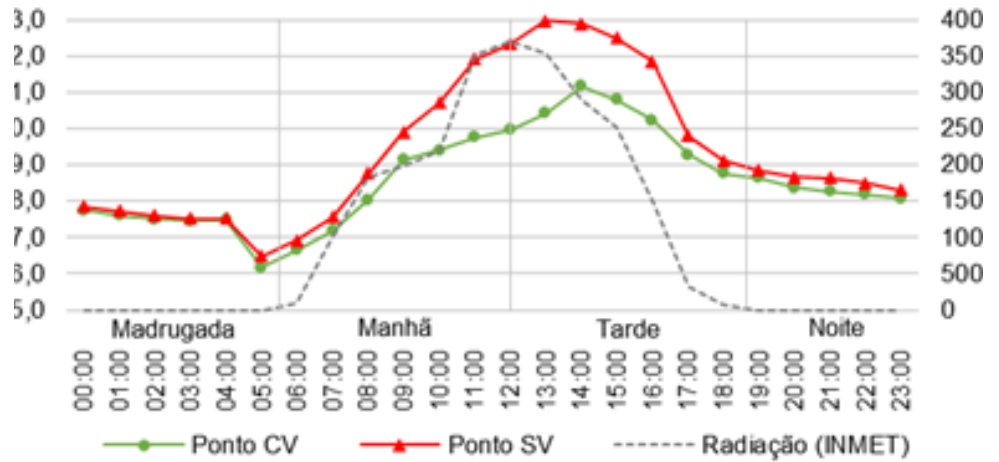
A partir das 15h, os valores da temperatura do ar apresentaram contínua redução em ambos os pontos, sendo as diferenças térmicas entre os pontos mais acentuada até às 16h. Esse resultado justifica-se pela redução dos níveis de radiação solar direta durante o período diurno, sobretudo nos horários em que o ângulo da altura solar é mais elevado, proporcionando maior sombreamento das superfícies horizontais (ruas e calçadas). Após às 17h, os pontos voltaram a registrar valores de temperatura do ar semelhantes, com reduzida diferença térmica, justificada pelo processo de liberação do calor armazenado ao longo do dia, estendendo esse comportamento durante todo o período noturno.

Mesmo com níveis de radiação solar semelhantes ao primeiro dia selecionado, o dia 31 de dezembro de 2021 apresentou valores de temperatura do ar mais elevados (Gráfico 6). Durante o período da madrugada, os pontos registraram valores similares, com redução mais acentuada em ambos os pontos às 05h.

Nos períodos matutino e vespertino, os dois pontos registraram aumento da temperatura do ar, acompanhando a incidência de radiação solar direta no interior dos cânions. A variação de temperatura do ar foi semelhante à observada no dia anterior, com máxima diária às 13h no ponto SV e às 14h no ponto CV, chegando a maior diferença térmica entre os pontos de 2,6°C, às 13h. Mais uma vez, os resultados evidenciam que a presença da vegetação arbórea, por meio do sombreamento das superfícies, favoreceu ao aquecimento menos acentuado nos horários de maior incidência de radiação solar, quando comparado com o ponto SV. Durante o período noturno, o ponto SV apresentou maiores valores da temperatura do ar, assim como nos dias anteriores, porém com reduzidas diferenças térmicas em relação ao ponto CV.

Gráfico 6 - Variação da temperatura do ar nos pontos CV e SV (à esquerda) e da radiação (à direita) no dia 31/12/21.

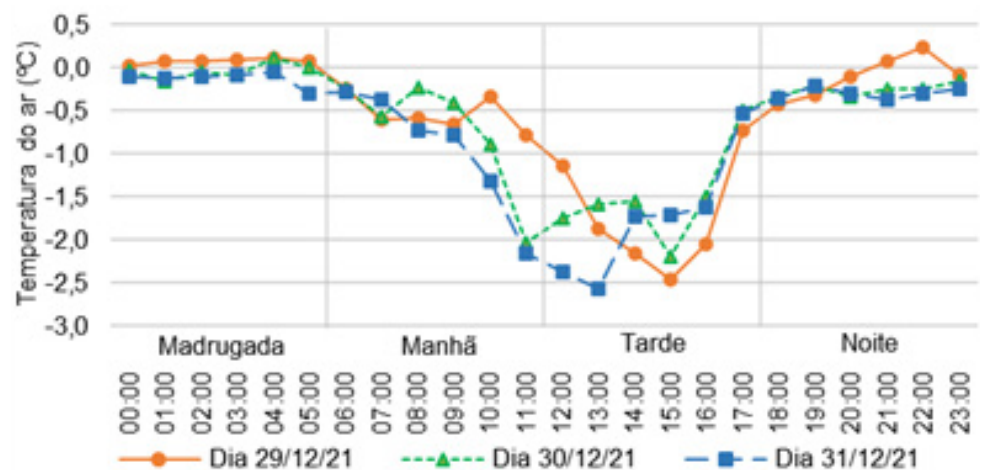
Fonte: Elaboração dos autores.



O Gráfico 7 apresenta as diferenças da temperatura do ar do ponto CV em relação ao ponto SV nos três dias analisados. Observou-se que as diferenças térmicas entre os pontos são mais acentuadas a partir das 10h, quando o sol está mais elevado na abóbada celeste e a incidência de sombreamento pela vegetação arbórea torna-se mais efetiva. As maiores diferenças foram observadas entre 13h e 15h, chegando a 2,5°C no dia 29/12/2021 e 2,6°C no dia 31/12/2021. Durante os períodos da madrugada e noturno, as diferenças entre os pontos foram quase nulas nos três dias analisados, devido à ausência de radiação solar.

Gráfico 7 - Comparação da diferença da temperatura do ar entre os pontos CV e SV nos três dias selecionados.

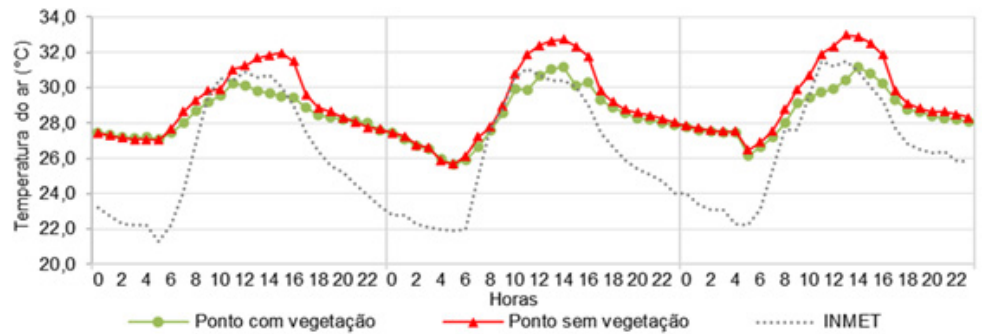
Fonte: Elaboração dos autores.



A variação térmica nos pontos amostrais também foi comparada com variação de temperatura do ar registrada na estação do INMET, com o intuito de analisar as diferenças térmicas a partir de uma referência fora de cânions urbanos (Gráfico 8).

Gráfico 8 - Variação da temperatura do ar nos dois pontos analisados e na estação automática do INMET, nos dias 29, 30 e 31 de dezembro de 2021.

Fonte: Elaboração dos autores.



Dessa forma, verificou-se que ambos os pontos amostrais registraram valores de temperatura do ar mais elevados que o entorno rural da cidade, o que já era esperado, evidenciando a influência do ambiente construído na variação da temperatura do ar. Além disso, cabe destacar que os pontos amostrais estão próximos à orla litorânea, com acentuado efeito do Oceano Atlântico no aumento da umidade do ar e regularização da variação térmica na área estudada. Contudo, observa-se que este fenômeno se acentua nos horários em que não há incidência da radiação solar ou quando o sol está a uma baixa altura na abóbada celeste – nas primeiras horas da manhã ou próximo ao final da tarde, quando a estrutura urbana mantém-se mais aquecida pela elevada absorção de radiação solar pela massa edificada.

Entretanto, nos horários de maior altura solar, entre 9h e 14h, os valores de temperatura do ar no ponto CV tendeu a ser menores que o registrado na estação do INMET. Este resultado justifica-se, mais uma vez, pela influência do sombreamento proporcionado pela vegetação arbórea, atuando de forma mais efetiva nesses horários. Assim, foram observadas diferenças térmicas da ordem de 2°C no ponto SV, entre 12h e 14h, enquanto a diferença térmica no ponto CV foi de apenas -1,2°C, estando o ponto inserido no cânion urbano com presença de vegetação arbórea menos aquecido que o ponto de referência não urbanizado.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos, verificou-se que a vegetação arbórea apresenta elevado potencial para redução nos valores de temperatura do ar no interior de cânions urbanos verticalizados, com maior eficiência no final da manhã e início da tarde, quando a altura solar é mais elevada e o sombreamento das superfícies horizontais (ruas e calçadas) proporcionado pelas copas das árvores é maior. Além disso, os resultados evidenciaram que o sombreamento é uma estratégia eficaz para mitigar as elevadas temperaturas do ar nos cânions urbanos, sob condições de dias quentes de verão, em cidades tropicais de baixa latitude.

Nesse sentido, observou-se diferenças térmicas de até 2,5°C entre um cânion urbano com presença de vegetação arbórea e outro cânion urbano com características construtivas e orientação análogas, porém sem presença de vegetação. Quando comparada a variação térmica entre os cânions urbanos e uma área de referência não urbanizada, observou-se que a presença de vegetação arbórea no cânion urbano proporcionou redução nos valores de temperatura do ar, especialmente entre os horários no final da manhã (10h) e fim da tarde (15h), chegando a valores de temperaturas do ar inferiores ao registrado na área não urbanizada, com diferenças próximas a 2,0°C. Este resultado evidencia o efeito proporcionado pelo sombreamento arbóreo na redução térmica dos espaços, sobretudo nos horários em que o Sol apresenta maior altura solar, favorecendo as projeções de sombra nas superfícies horizontais, as quais usualmente são recobertas com material de alta absorção – concreto e asfalto.

Salienta-se, portanto, a importância de considerar a vegetação urbana, especialmente no que se refere às espécies arbóreas, nas ações de planejamento e projetos urbanos por meio da criação e manutenção de áreas verdes, arborização das ruas e avenidas, canteiros centrais arborizados, parques e praças, compondo, assim, um sistema verde na malha urbana, de forma a promover condições térmicas microclimáticas mais favoráveis ao conforto humano em espaços abertos e bem-estar dos habitantes.

REFERÊNCIAS

ALI-TOUDERT, F.; MAYER, H. Effects of asymmetry, galleries, overhanging façades and vegetation on thermal comfort in urban street canyons. **Solar Energy**, v. 81, p. 742–754, 2007. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/245170290_Effects_of_asymmetry_galleries_overhanging_facades_and_vegetation_on_thermal_comfort_in_urban_street_canyons. Acesso em: 17 jul. 2023.

ARNFIELD, A. J. Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. **International Journal of Climatology**, p. 1–26, 2003. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/227692003_Two_decades_of_urban_climate_research_A_review_of_turbulence_exchanges_of_energy_and_water_and_the_urban_heat_island. Acesso em: 17 jul. 2023.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507.

AYRES, M. C. R. **Influência do sombreamento natural de duas espécies arbóreas na temperatura de edificações**. 2004. 115 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, 2004. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/101725>. Acesso em: 17 jan. 2023.

BARBOZA, E. N.; PEREIRA, J. M. P.; SILVA, M. F. C.; SILVA, A. M. S.; SILVA, E. M.; OLIVEIRA, B. B.; MARQUES, A. T.; QUEIROZ, J. P. B.; CAIANA, C. R. A.; BEZERRA NETO, F. C. Ilhas de Calor Urbana por meio de imagens do Landsat-8 em Fortaleza, Ceará. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**. Disponível em: <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RBGA/article/view/8200?articlesBySameAuthorPage=2>. Acesso em: 24 set. 2022.

BATTISTA, G.; CARNIELO, E.; VOLLARO Lieto de, R. Thermal impact of a redeveloped area on localized urban microclimate: A case study in Rome. **Energy and Buildings**, v. 133, p. 446-454, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.10.004>. Acesso em: 22 set. de 2022.

BRANDÃO, L. K. V.; BARBOSA, R. V. R.; TORRES, S. C. Clima e planejamento urbano: uma reflexão sobre qualidade ambiental em cidades brasileiras. In: BARBOSA, R. V. R.; PEREIRA, J. D. S. (Org.). **Projeto e tecnologias**: desempenho e qualidade do ambiente construído. 2023.

BRANDÃO, L. K. V.; BARBOSA, R. V. R. Relação entre morfologia urbana e microclima a partir de cenários parametrizados em cidade de clima tropical de savana. **Diversitas Journal**, v. 8, p. 0480-0493, 2023. DOI: <https://doi.org/10.48017/dj.v8i1.2368>

CHEN, T., PAN, H., LU, M., HANG, J., LAM, C. K. C., YUAN, C., & PEARL-MUTTER, D. Effects of tree plantings and aspect ratios on pedestrian visual and thermal comfort using scaled outdoor experiments. **Science of The Total Environment**, v. 801, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149527>

CHOW, W. T. L., & BRAZEL, A. J. Assessing xeriscaping as a sustainable heat island mitigation approach for a desert city. **Building and Environment**, v. 47, p. 170–181, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.07.027>. Acesso em: 22 set. 2022.

COSTA FILHO, Amando Candeira. **Rugosidade e porosidade do tecido urbano como critérios de análise qualitativa da ventilação natural em cidades litorâneas**. 2017. 199 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA DO BRASIL. **Página inicial**. 2022. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais>. Acesso em: 15 jul. 2023.

LEE, Y. Y., MD DIN, M. F., IWAO, K., LEE, Y. H., & ANTING, N. Impact of thermal behaviour of different environmental conditions on ambient environment and thermal discomfort in Malaysia. **Indoor and Built Environment**, 2020. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1420326X19897956>. Acesso em: 15 jul. 2023.

MARTELLI, A.; SANTOS JUNIOR., A. R. dos. Arborização Urbana do município de Itapira – SP: perspectivas para educação ambiental e sua influência no conforto térmico. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, [S. l.], v. 19, n. 2, p. 1018–1031, 2015. DOI: 10.5902/2236117015968. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/reget/article/view/15968>. Acesso em: 2 ago. 2022.

MEILI, N.; ACERO, J. A.; PELEG, N.; MANOLI, G.; BURLANDO, P.; FATICHI, S. Vegetation cover and plant-trait effects on outdoor thermal comfort in a tropical city. **Building and Environment**, v. 195, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107733>. Acesso em: 28 jul. 2022.

NERES, D. L.; SILVA, L. R. C. da.; PEREIRA, M. A. B. Influence of vegetation on thermal and urban comfort in a municipality in the south of Tocantins. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 6, p. e47810615999, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i6.15999. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/15999>. Acesso em: 2 ago. 2022.

OKE, T. R. Street Design and Urban Canopy Layer Climate. **Energy and Buildings**, v. 11, p. 103–113, 1988. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0378-7788\(88\)90026-6](https://doi.org/10.1016/0378-7788(88)90026-6). Acesso em: 27 jul. 2022.

PEREIRA, J. D. S.; BARBOSA, R. V. R. Influência da vegetação arbórea no microclima de áreas verdes urbanas. In BARBOSA, R. V. R.; PEREIRA, J. D. S. (Org.). **Projeto e tecnologias: desempenho e qualidade do ambiente construído**. 2023.

PEREIRA, J. D. S.; BARROS, P. C. F.; BARBOSA, R. V. R. Diferentes abordagens sobre áreas verdes urbanas em alagoas: estudos no Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo com ênfase nas dinâmicas do espaço habitado. In: BARBOSA, R. V. R.; PEREIRA, J. D. S. (Org.), **Projeto e tecnologias: desempenho e qualidade do ambiente construído**. 2023.

PEREIRA, J. D. S.; BRANDÃO, L. K. V.; BARBOSA, R. V. R. Análise da distribuição espacial de áreas verdes urbanas na qualidade térmica em região de clima semiárido. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, Viçosa, 2021, v. 7, n. 1, p. 12019-01. DOI: <https://doi.org/10.18540/jcecvl7iss1pp12019-01-09e>

SILVA, M. F. da. **Estratégias bioclimáticas para seis cidades alagoanas**: contribuições para a adequação da arquitetura ao clima local. 2019. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2019.

SILVA, M. F. da; BARBOSA, R. V. R. Regime de ventos em cidades de diferentes regiões geográficas de Alagoas a partir de dados meteorológicos recentes. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S. l.], v. 31, n. 18, p. 509–538, 2022. DOI: <https://doi.org/10.55761/abclima.v31i18.15606>

TAN, X.; LIAO, J.; BEDRA, K. B.; LI, J. Evaluating the 3D cooling performances of different vegetation combinations in the urban area. **Journal of Asian Architecture and Building Engineering**, p. 1124-1136, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/13467581.2021.1903905>. Acesso em: 28 jul. 2022.

TEIXEIRA, D.; AMORIM, M. Mensuração e frequência da intensidade da ilha de calor urbana noturna de Santo Anastácio, São Paulo, Brasil. **Élisée - Revista de Geografia da UEG**, v. 10, n. 1, p. e101211, 12 jan. 2021. Disponível: <https://www.revista.ueg.br/index.php/elisee/article/view/10691>. Acesso em: 15 jul. 2023.