



# CIDADES, CLIMA E VEGETAÇÃO

modelagem e políticas públicas ambientais

Margarete Crístiane de Costa Trindade Amorim  
Vincent Dubreuil  
(organizadores)



Copyright © Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim, Vincent Dubreuil.  
Capa: Equipe TotalBooks sobre figura de Luis Flávio de Araújo, Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim e Vincent Dubreuil.  
Editoração: Equipe TotalBooks.  
Revisão: Equipe TotalBooks.

2024

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)**

Cidades, clima e vegetação [livro eletrônico] : modelagem e políticas públicas ambientais / organizadores Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim, Vincent Dubreuil. -- Porto Alegre, RS : TotalBooks, 2024.  
PDF

Vários autores.  
Bibliografia.  
ISBN 978-65-88393-62-8

1. Clima 2. Climatologia 3. Mudanças climáticas - Aspectos ambientais 4. Política ambiental 5. Políticas públicas 6. Vegetação I. Amorim, Margarete Cristiane de Costa Trindade. II. Dubreuil, Vincent.

24-197825

CDD-551.69

**Índices para catálogo sistemático:**

Climatologia em ambientes urbanos : Abordagem geográfica : Ciências da terra 551.69  
Tábata Alves da Silva - Bibliotecária - CRB-8/9253

Todos os direitos reservados para os autores.

Não é permitida a reprodução total ou parcial desta obra, por quaisquer meios, sem a prévia autorização por escrito do/a respectivo/a autor/a.

*Os autores e as autoras são responsáveis pelos conteúdos apresentados (textos, figuras, quadros etc.) inclusive pela grafia, correção gramatical, sintaxe e pelo uso da norma culta da língua portuguesa e de língua estrangeira, e assumem total responsabilidade pública e jurídica sobre os mesmos.*

EDITORA TOTALBOOKS® LTDA.  
[contato@totalbooks.com.br](mailto:contato@totalbooks.com.br)

**EDITORA TOTALBOOKS**

**CONSELHO EDITORIAL MULTIDISCIPLINAR**

Dr<sup>a</sup> Adriana Dorfman  
Dr. Alfa Oumar Diallo  
Dr<sup>a</sup> Ana Maria Colling  
Dr. Antonio Moreno Jiménez  
Dr. Bruno de Souza Lima  
Dr. Celso Augusto Nunes da Conceição  
Dr. Charlei Aparecido da Silva  
Dr<sup>a</sup> Cintia Santos Diallo  
Dr<sup>a</sup>. Cristina Vargas Cademartori  
Dr. Eduardo Salinas Chavez  
Dr. Emerson Galvani  
Dr. Edvaldo César Moretti  
Dr<sup>a</sup> Edvania Gomes de Assis Silva  
Dr<sup>a</sup> Elisabeth Ritter  
Dr. Eliseu José Weber  
Dr. Fabio de Oliveira Sanches  
Dr<sup>a</sup> Gilca Lucena Kortmann  
Dr. Gustavo Daniel Buzai  
Dr. Henrich Hasenack  
Dr. Henri Luiz Fuchs  
Dr. Henrique Carlos de Oliveira Castro  
Dr<sup>a</sup> Irene Santos Garcia  
Dr. Javier Garcia López  
Dr. Jefferson Cardia Simões  
Dr. Jose Luis Gurria Gascón  
Dr. Paulo José Moraes Monteiro e Teixeira Germano  
Dr. Paulo Roberto Fitz  
Dr<sup>a</sup> Patrícia Cristina Statella Martins  
Dr. Roberto Verdum  
Dr. Rodrigo Stumpf Gonzáles  
Dr. Rogério Gomes da Silva  
Dr<sup>a</sup> Valéria Silveira Brisolara  
Dr. Vinícius Gadis Ribeiro



EDITORA TOTALBOOKS®

Av. Willy Eugênio Fleck, 1500/337 – CEP 91150-180 – Porto Alegre - RS

[www.totalbooks.com.br](http://www.totalbooks.com.br)

### **Agradecimentos**

Ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da FCT da Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, São Paulo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Ao programa CAPES/COFECUB - processo: 88881.191765/2018-01; Sh 941/19 – projeto: CiCIAMEn (Cidades, Clima e Vegetação: Modelagem e Políticas Públicas Ambientais).



## APRESENTAÇÃO

As cidades representam menos de 2% da superfície terrestre e, apesar disso, concentram a maior parte da população na escala mundial. Devido às alterações ambientais causadas pela urbanização, especialmente o aumento da temperatura, a denominada *Urban Heat Island* (UHI), ou ilha de calor (ICU), e as concentrações de poluentes atmosféricos, a população urbana é exposta a muitos efeitos negativos que podem afetar tanto o conforto quanto a saúde humana.

No entanto, essas alterações ambientais não são restritas ao intraurbano, mas podem se propagar para fora e afetar o clima, a composição atmosférica e a qualidade do ar em áreas adjacentes periurbanas e rurais. Essas alterações podem potencialmente levar a mudanças no funcionamento do ecossistema periurbano e rural.

Alguns estudos buscaram propor medidas mitigadoras explorando o papel da vegetação urbana para reduzir a UHI. Entretanto, muitas dessas análises esqueceram de considerar situações reais considerando-se: i) a climatologia regional; ii) a diversidade das trajetórias históricas do uso da terra; iii) a morfologia do sítio urbano; e iv) o contexto das políticas públicas.

Além disso, a maioria das pesquisas foi realizada nas grandes cidades e poucas foram aquelas desenvolvidas em cidades médias. São raros os estudos que envolvem comparações entre ambientes urbanos temperados e tropicais. Outro aspecto a ser destacado se refere ao fato das ilhas de calor apresentarem as maiores magnitudes no período noturno. Entretanto, além da intensificação das temperaturas a partir desse fenômeno, naturalmente no ambiente tropical e no verão dos ambientes temperados, a dinâmica natural da atmosfera proporciona temperaturas elevadas que geram situações de desconforto para a população.

Deste modo, as características naturais do clima, em tempos de mudanças climáticas globais, também devem ser consideradas nas políticas públicas. Tanto na França quanto no Brasil, as áreas urbanas concentram a maior parte da população. Na França, as áreas urbanas representam 22% do território metropolitano e concentram 78% da população, e as periurbanas respondem por 38% do território metropolitano francês de acordo com a classificação do INSEE (Instituto Nacional de Estatística e Estudos Econômicos). No Brasil, a urbanização foi acelerada, sendo que em 1940 a população urbana era de 34,3% e atualmente é estimada em

84,7%, de acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2015), resultando na potencialização dos problemas ambientais.

É nesse contexto que foi desenvolvida a proposta de programa bilateral de pesquisa Brasil-França, aprovada pela CAPES e COFECUB em 2018. O projeto CICLAMEN (Cidades, clima e vegetação: modelagem e políticas públicas ambientais), reuniu durante cinco anos (de 2019 a 2023) pesquisadores e estudantes inicialmente das universidades de Presidente Prudente, Maringá, Três Lagoas e São Paulo, no Brasil, e Rennes na França.

Posteriormente, os contatos contínuos das diversas equipes possibilitaram a inclusão de novos locais de estudo com colegas de Curitiba, Campinas, Sinop e Alta Floresta. Os locais de estudo tornaram-se assim mais numerosos, mas sempre abrangeram cidades de porte médio: Presidente Prudente, Jacareí e Indaiatuba, no estado de São Paulo, Maringá, no Paraná, Três Lagoas, no Mato Grosso do Sul, Florianópolis, em Santa Catarina; Sinop, Alta Floresta e Sorriso, no Mato Grosso. E, claro, Rennes na França!

O projeto buscou abordar as seguintes questões científicas:

- i. como a modelagem pode contribuir para a compreensão da dinâmica espaço-temporal da UCI em cidades de porte médio com contextos históricos e climáticos diferentes;
- ii. como a vegetação urbana pode afetar o clima nas escalas local e regional e reduzir o aquecimento se propagando dentro da cidade;
- iii. até que ponto a vegetação urbana pode ser incluída nas políticas públicas para mitigar a UHI num contexto de aquecimento global;
- iv. como as diferentes morfologias do relevo intraurbano em cidade de porte médio influenciam na geração do clima urbano; e
- v. como estão apresentadas as propostas e estratégias de governança junto às diretrizes políticas.

As cidades escolhidas estão localizadas em ambientes temperados, subtropicais, tropicais e subequatoriais, considerando também aglomerações antigas (um século até milênios!) e as mais recentes (frente pioneira da Amazônia). Foram utilizados procedimentos em comum, tais como registros meteorológicos *in situ*, caracterização na escala local da vegetação e do uso da terra com imagens de satélite, e entrevistas com atores locais para entender as estratégias das políticas públicas.

Este livro é o resultado de uma longa e frutífera colaboração entre as equipes francesa e brasileira incluídas no programa CICLAMEN. Mas, além do presente livro, é importante destacar os resultados do projeto de modo mais amplo. Apesar do contexto de redução de

recursos financeiros e da pandemia, a maioria das missões de trabalho bilaterais no campo foram realizadas com sucesso: seis em cada sentido. Em cada ocasião, foram realizados seminários conjuntos em Rennes, Presidente Prudente, Maringá e Três Lagoas. Tais seminários permitiram o encontro e o compartilhamento de ideias e metodologias entre pesquisadores experientes e mais jovens, mestrandos e doutorandos. É importante destacar que diversas teses foram defendidas (ou serão em breve) como parte do projeto: duas na França e seis no Brasil, incluindo três em coorientação. Finalmente, vários artigos científicos conjuntos foram publicados em revistas científicas internacionais e anais de conferências internacionais e nacionais.

Como extensão do Programa CAPES/COFECUB foram recentemente aprovados novos projetos, que nos permitirão continuar a desenvolver os métodos iniciados nos últimos anos. E, claro, as alterações climáticas em curso e os desafios ligados ao crescimento urbano global requerem a continuação das investigações nessa área, para tornar o mundo de amanhã melhor e mais habitável para as futuras gerações.

*Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim.  
Vincent Dubreuil.*

## PREFÁCIO

Em obra do final dos anos 1980 François Ramade<sup>1</sup> nos surpreendeu com a inserção da urbanização mundial dentre os principais problemas ecológicos dos nossos tempos. Tratada há mais de um século como tema especialmente ligado à arquitetura, engenharia e sociologia, a urbanização do planeta já despertara preocupações desde o início do século passado; o seu porvir inspirou questionamentos variados entre pesquisadores e intelectuais que, até mesmo na cinematografia, registrou olhares preocupantes. Tanto o filme *Metrópolis* (Fritz Lange, 1927) quanto *Blade Runner I* (Ridley Scotth, 1982) apontaram realidades desafiadoras à vida humana na cidade, palco que se tornaria da escassez de recursos naturais, de conflitos permanentes entre grupos humanos e da impossibilidade da vida para a maioria das pessoas.

Despertando um fascínio jamais visto sobre as mentes humanas, obviamente que por expressiva ação dos meios de comunicação de massa, as cidades passaram a atrair cada vez mais pessoas para nelas viverem. Esse marco da modernidade já despertava a atenção dos dirigentes e atores sociais, além de estudiosos, no início da era industrial do Ocidente, posto a queda da qualidade de vida humana registrada nas aglomerações urbano-industriais do início do capitalismo. Dali nascia a preocupação com a condição ecológica da vida humana, que estava se comprometendo devido às alterações provocadas pelas atividades humanas no sítio urbano. É sempre recorrente a lembrança ao trabalho de John Snows relativo à proliferação de doenças em Londres no início da era industrial, resultado da poluição ambiental muito expressiva em algumas cidades inglesas de então. A poluição do ar, e o conseqüente *smog* registrado naquelas localidades testemunham tanto o nascimento do urbanismo, como campo do conhecimento, quanto a preocupação com a qualidade do ar das cidades!

No século XX, o século da urbanização<sup>2</sup>, a expansão, o dinamismo e a criação de novas cidades tornaram-se fatos consolidados, especialmente nos países do sul global. Desde meados dos anos cinquenta as cidades despertam, cada vez mais, a atenção de estudiosos, de gestores urbanos e da sociedade em geral. No Brasil, cuja população urbana suplantou a população rural em meados da década de 1960, num flagrante processo de periferização e precarização da vida

---

<sup>1</sup> RAMADE, François. **Les Catastrophes ecologiques**. Paris: McGraw Hill, 1987.

<sup>2</sup> CHOAY, Françoise. **O urbanismo**. São Paulo: Perspectiva, 1979.

urbana, a deterioração da qualidade de vida intensificou-se especialmente nas cidades de médio e grande porte.

No bojo dos planos nacionais de desenvolvimento brasileiros do início da segunda metade do século passado, registrava-se a elaboração de planos diretores de desenvolvimento urbano especialmente das grandes cidades; o estabelecimento das nove primeiras metrópoles no país testemunha, de forma evidente, este fato. Neste mesmo período, e com uma atenção às grandes manchas urbanas e seus complexos contextos, é que foram registradas duas obras capitais para o estudo do clima urbano: a de Timothy Oke (*Urban Boundary Layer*) e a de Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro (*Teoria e Clima Urbano*). A primeira, de difusão internacional especialmente pela facilidade da língua inglesa já no mundo pré-globalizado, e, a segunda, de repercussão interna ao Brasil. O sucesso da publicação da primeira, em formato de livro, alcançou praticamente o universo acadêmico e técnico do mundo todo; ao passo que a segunda, uma tese para o cargo de Livre Docência na Universidade de São Paulo, jamais foi publicada em formato de livro por editora comercial, tendo ficado restrita ao mundo acadêmico brasileiro e a alguns consultórios técnicos no país.

Mas a preocupação inicial com o clima das grandes cidades logo se viu tentada a se expandir para a abordagem das cidades de médio porte devido, notadamente, ao dinamismo destas no final do século XX no Brasil. Os estudos da climatologia urbana passaram, então, a enfocar estes aglomerados urbanos de porte mediano (para o caso do Brasil) devido não somente à sua expressiva presença na urbanização do país, mas, sobretudo, ao dinamismo que eles produzem na economia nacional. Com a inserção das cidades médias nos estudos do clima, houve o desenvolvimento de novas técnicas e tecnologias para a aferição e o monitoramento do clima das cidades, proporcionando um salto quantitativo e qualitativo no estudo do clima urbano no Brasil.

Nas décadas seguintes, uma nova escala espacial de abordagem das áreas urbanas brasileiras passou a despertar a atenção dos estudiosos do clima no país. Foi nesta fase que se observou o registro crescente da preocupação e dos estudos com o clima das cidades médias e pequenas. Vários estudos foram desenvolvidos sobre cidades de todas as regiões brasileiras, mas tomaram destaque aqueles elaborados sobre as áreas de urbanização mais antigas e consolidadas do país como fora o caso da região Sudeste, com maior evidência para as cidades dos estados de São Paulo, de Minas Gerais e do Rio de Janeiro.

Uma exitosa equipe de pesquisadores da UNESP – Universidade Estadual Paulista - Campus de Presidente Prudente – encontra-se, desde longa data, à frente das pesquisas em climatologia no Brasil, sendo dela a maior produção nacional de estudos ligados ao tema no país. Liderada por dois eminentes colegas, o Prof. João Lima Sant’Anna Neto e a Profª Margarete Trindade Amorim, a equipe tem não somente inovado na abordagem do clima urbano de cidades médias e pequenas, mas, também, investido em novas técnicas e tecnologias, colocando os resultados de suas pesquisas e de seus orientandos na vanguarda da temática; o presente livro é testemunha incontestada desta produção.

Todavia, a presente obra não está restrita ao estudo das cidades médias e pequenas, embora constituam o cerne dela, nem tampouco somente ao estudo de casos brasileiros. Figura, dentre os vários exemplos, o estudo relativo à cidade de Florianópolis, um dos mais expressivos aglomerados urbanos brasileiros situados dentre aqueles de médio a grande porte! Neste estudo tivemos a grata satisfação de coorientar a pesquisa com nosso iminente colega Prof. Vincent Dubreuil, do Laboratório COSTEL/Université de Rennes II – França.

Os estudos aqui sintetizados resultam de uma frutífera cooperação científica internacional no âmbito do acordo CAPES-COFECUB, nesta oportunidade liderado por dois colegas já nominados. Trata-se do tipo de cooperação que enriquece e fortalece tanto as instituições quanto os grupos de pesquisa e, seu sucesso, expresso nos resultados obtidos, reforçam a importância da cooperação internacional que o acordo propicia.

Os acordos internacionais de cooperação científica e técnica constituem peças fundamentais para a internacionalização da ciência, dimensão que nos dias atuais ganha cada vez mais importância, tanto pelo intercâmbio de saberes e experiências, facilitados que são pelas tecnologias de comunicação, quanto por colocarem pesquisadores e estudantes em trabalho de construção compartilhada do conhecimento. E o tempo atual é aquele no qual os desafios das mudanças climáticas globais expressam, de certa maneira, a grande ameaça ao futuro da humanidade. Neste contexto, as cidades desempenham um papel fundamental, tanto por constituírem *players* de alto destaque na emissão de gases de efeito estufa quanto por concentrarem a maior parte da população mundial. Nelas, os riscos e as vulnerabilidades associados aos eventos climáticos extremos colocam em evidência, de maneira flagrante, que a maior parte da população pobre e miserável será aquela mais impactada, especialmente aquelas dos países do sul global! Estudos como aqueles aqui sintetizados trazem importantes contribuições para se atacar de frente tais tipos de problemas!

Em discurso emocionado na retomada da democracia no Brasil, o Presidente Lula afirmou: “A ciência está de volta!”. É com esta máxima que quero saudar a publicação dessa importante obra para a ciência e para a sociedade brasileira e francesa, desejando vida longa aos scordos CAPES-COFECUB e à universidade brasileira. Que o sucesso obtido pelos nossos alunos e colegas, aqui registrado, seja perene e iluminador de estudiosos, gestores urbanos e movimentos sociais em defesa da justiça climática, ambiental e social!

Curitiba, fevereiro de 2024.

*Francisco Mendonça.*

# SUMÁRIO

## **Apresentação**

Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim Vincent Dubreuil .....	4
--	---

## **Prefácio**

Francisco Mendonça. ....	10
--------------------------	----

## **Tendências de aumento de dias quentes e noites tropicais em Presidente Prudente – SP: desafios para o estudo do clima urbano**

Gustavo Henrique Pereira da Silva Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim .....	13
---	----

## **Simulação do microclima em cidade tropical utilizando o modelo numérico envi-met**

Renata dos Santos Cardoso Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim .....	28
---	----

## **A influência das formas de relevo e do uso e ocupação da terra na formação de ilhas de calor na cidade de Presidente Prudente, SP, Brasil**

João Osvaldo Rodrigues Nunes Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim Danielle Cardozo Frasca Teixeira Glauber Verner Firmino .....	43
--	----

## **Análise do NDVI e da temperatura superficial em Três Lagoas (MS), no período de 2013 a 2023**

Gislene Figueiredo Ortiz Porangaba .....	59
--	----

## **Ilhas secas urbanas em episódio de inverno na cidade de Três Lagoas, MS: a importância dos fragmentos florestais urbanos para as condições higrométricas em cidades tropicais**

Mauro Henrique Soares da Silva Hermiliano Felipe Decco Vincent Dubreuil Hervé Quèmol .....	72
---	----

## **Investigação sobre a formação de ilha de calor na cidade de Jacaréí, Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte, São Paulo, Brasil**

Andrea Cavicchioli Vincent Dubreuil .....	90
--	----

## **Frequência e intensidade de ilhas de calor urbano em Indaiatuba (São Paulo)**

Larissa Vieira Zezzo Priscila Pereira Coltri Vincent Dubreuil .....	105
---	-----

## **Ilha de calor à beira-mar: a área conurbada de Florianópolis-SC**

Geisa Silveira da Rocha	
Vincent Dubreuil	
Francisco Mendonça .....	124

## **As ilhas de calor urbanas nas cidades da frente pioneira da Amazônia Mato-grossense**

Vincent Dubreuil	
Damien Arvor	
Vincent Nedelec	
Jean Nabucet	
Charlotte Brabant	
Carlos Antonio da Silva Junior	
João Lucas Della Silva	
Laurimar Vendrusculo	
Bruno Cardoso	
Marco Antonio Camillo de Carvalho	
Thiago Rizzi	
Isabelle Bonini	
Luis Flávio de Araújo	
Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim .....	140

## **As relações entre as características paisagísticas e a espacialização da ilha de calor urbana de Sinop-MT: análise de episódios em períodos secos**

Luis Flávio de Araújo	
Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim	
Vincent Dubreuil .....	152

## **Instrumentos de política ambiental em Jacareí: escolhas para a ação pública e suas relações com as mudanças climáticas**

Eduardo de Lima Caldas	
Carla Moura de Paulo .....	169

## **Rennes, uma cidade climaticamente inteligente? Iot a serviço do monitoramento das ilhas de calor urbanas**

Vincent Dubreuil	
Charlotte Brabant	
Gabriel Delaunay	
Jean Nabucet	
Hervé Quenol	
Frédéric Clain	
François Leprince	
Jérôme Dreano	
Laurent Georget .....	184

## **Posfácio**

João Lima Sant'Anna Neto .....	210
--------------------------------	-----

<b>Descrição sumária dos organizadores e autores (ordem alfabética) .....</b>	<b>212</b>
---	------------

## TENDÊNCIAS DE AUMENTO DE DIAS QUENTES E NOITES TROPICAIS EM PRESIDENTE PRUDENTE – SP: DESAFIOS PARA O ESTUDO DO CLIMA URBANO

Gustavo Henrique Pereira da Silva  
Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim

### INTRODUÇÃO

As cidades têm sido um dos principais focos de engajamento nas preocupações ambientais e na agenda climática, principalmente em relação às reflexões sobre a qualidade ambiental, a ocorrência de extremos de temperatura e precipitação (IPCC, 2021), e sua manifestação por meio de impactos que comprometem a integridade das áreas urbanas (Di Giulio *et al.*, 2019).

Isso se deve ao fato de que esses espaços concentram grandes parcelas da população humana. Em 2021, a população urbana era de 56%, podendo atingir cerca de 68% até o ano de 2050, o que revela, em uma perspectiva demográfica, uma tendência inegavelmente urbana para a humanidade, incluindo o Brasil e demais países latino-americanos (UN-Habitat, 2022). No caso brasileiro, os dados do último censo (IBGE, 2023) revelaram uma expansão das cidades de pequeno e médio porte (Tabela 1), com crescimento relativo superior aos das cidades grandes e capitais nos últimos 12 anos, quando comparados aos dados do censo de 2010 (IBGE, 2010). Atualmente, essas duas faixas de população municipal representam juntas aproximadamente 71% da população brasileira, o que demonstra um ganho de complexidade desses espaços, especialmente para as cidades médias, que apresentam notável importância na economia nacional.

**Tabela 1** - População residente segundo faixas de população municipal em 2022.

Tamanho do município	Número absoluto da população total em 2022	% na população total em 2022
Maior que 500 mil habitantes	58.876.980	29
Entre 100 mil e 500 mil habitantes	56.768.154	28
Menor que 100 mil habitantes	87.417.378	43
Total	203.062.512	100

Fonte: Censo demográfico 2022, população e domicílios (IBGE, 2023).

As cidades são o principal exemplo de modificação da paisagem natural, seja pela expansão territorial urbana observada nesses ambientes, quanto pelas atividades desempenhadas, o que altera fortemente o balanço de energia em decorrência da substituição da vegetação por materiais construtivos e a impermeabilização da terra. Tais alterações interferem no albedo, ou seja, na relação entre a absorção e reflexão da radiação solar por diferentes materiais presentes na superfície, além do impacto das atividades humanas, como a presença de veículos, indústrias e climatizadores em ambientes internos (Amorim, 2020a).

Tais alterações na superfície, juntamente com as atividades humanas, ocasionam uma exacerbação dos efeitos dos elementos climáticos, resultando no aumento das temperaturas mínimas (Tn) e máximas (Tx) no ambiente urbano e na geração de ilhas de calor urbanas. Desse modo, considerando a expressiva quantidade de pessoas que vivem em centros urbanos de pequeno e médio porte, estas são particularmente afetadas por características climáticas específicas, especialmente no que diz respeito ao desconforto térmico e aos problemas decorrentes das altas temperaturas. Com isso, reforça-se a necessidade da realização de estudos de clima urbano nesses espaços, com vistas ao planejamento e ao bem-estar de seus moradores (Amorim, 2020a).

Nesse sentido, o presente trabalho teve por objetivo discutir as alterações climáticas em escala local, particularmente no aumento das temperaturas máximas e mínimas observadas nas últimas décadas na cidade de porte médio de Presidente Prudente (Figura 1), tendo como recorte temporal a série histórica de 1971 a 2020 (50 anos). Com uma população de 225.668 habitantes (IBGE, 2023), Presidente Prudente está localizada no oeste do estado de São Paulo. Em um contexto regional, ocupa importante posição na hierarquia e nos vínculos entre as cidades. Com destaque para o setor terciário, incluindo a prestação de serviços e comércio, a cidade possui uma área de influência que a classifica como “Capital Regional C” dentro do quadro de referência da rede urbana brasileira (IBGE, 2020).

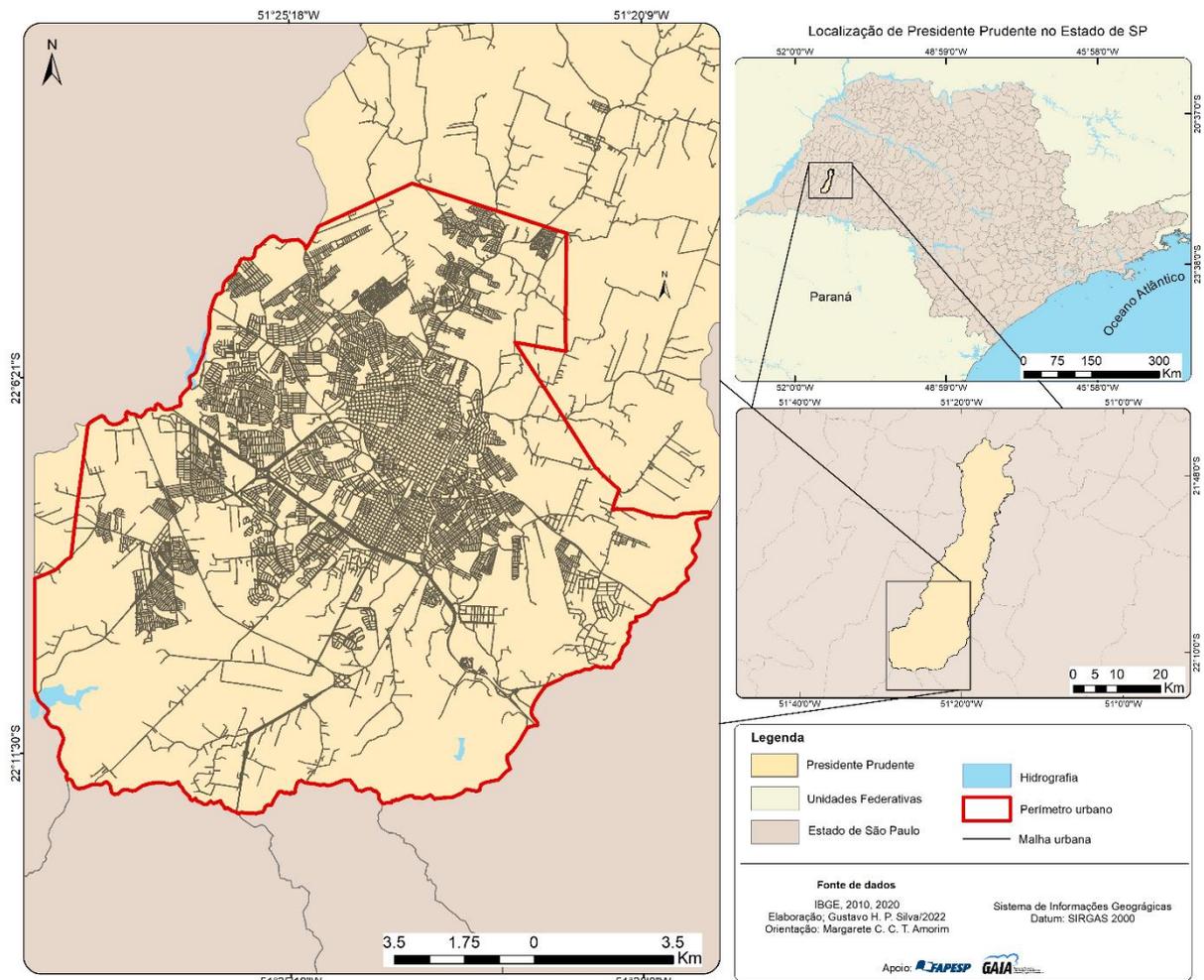
Presidente Prudente se encontra submetida ao tipo climático anual (TCA) do tipo “A” (tropical), com predomínio do Aw, clima tropical com verão quente e chuvoso, e inverno com temperaturas mais amenas e diminuição das precipitações (Dubreuil *et al.*, 2018)<sup>3</sup>. A cidade está localizada em uma zona de transição climática, sendo os tipos de tempo observados

---

<sup>3</sup> Para a identificação dos tipos médios de tempo foi feito o uso da classificação climática de Köppen para o período de 1964 – 2015. Foi considerado um conjunto de 208 estações representativas da diversidade climática do Brasil. A partir dos dados médios mensais de temperatura e precipitação, os autores procuraram estabelecer a frequência dos TCA para cada estação.

regionalmente definidos pela atuação de sistemas intertropicais e polares, especialmente as massas Tropical atlântica (mTa) e Polar atlântica (mPa).

**Figura 1** - Localização de Presidente Prudente no estado de São Paulo.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

## EVENTOS EXTREMOS DE TEMPERATURA DO AR EM AMBIENTES URBANOS

Em termos meteorológicos, eventos extremos são considerados como desvios dos registros habituais das médias, ou seja, de um estado climático moderado para determinada área de estudo. Esses eventos podem apresentar escalas diferentes de ocorrência. As escalas de curto e médio prazo são particularmente relevantes para a atividade humana, dados os impactos socioambientais que podem ser ocasionados (Marengo, 2009).

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), em seu sexto relatório (AR6) publicado em 2021 (IPCC, 2021), aponta para um aumento na ocorrência de extremos climáticos, como o aumento de dias e noites quentes em diversas partes da Terra. Tais eventos

têm se tornado cada vez mais frequentes e intensos, e esse cenário também é observado na escala local, com destaque dado pelo relatório às áreas metropolitanas, que estão cada vez mais inseridas nas discussões sobre as mudanças climáticas.

Ao refletir sobre as cidades brasileiras e os diferentes efeitos associados ao clima urbano, destaca-se que esses espaços estão vulneráveis aos impactos dos extremos climáticos, principalmente devido à falta de estratégias urbanas que considerem um planejamento eficiente para todos e uma gestão adequada do uso da terra (Nobre *et al.*, 2010).

Nesse sentido, para os estudos climáticos realizados nas cidades, é importante considerar a dimensão escalar e sua complexidade, bem como compreender a dinâmica da atmosfera local. Além de identificar o problema e apontar os pressupostos que levaram ao quadro atual, é fundamental também apresentar perspectivas para a minimização dos impactos, a fim de evitar cenários ainda mais desafiadores para esses espaços.

Quanto à identificação dos eventos extremos, comumente se realizam cálculos de índices climáticos. Esses índices são considerados como padrões para estudos de climatologia e possibilitam a identificação de diferentes aspectos dos elementos climáticos, como tendências em eventos extremos de precipitação, de temperatura do ar, e ondas de calor e de frio (Junk; Goergen; Krein, 2019; Sun *et al.*, 2021; Felix *et al.*, 2021).

Além disso, o uso dos índices climáticos é amplamente recomendado para a compreensão das alterações que podem estar ocorrendo nos padrões dos elementos climáticos. Por exemplo, as alterações na variabilidade muitas vezes não são captadas apenas pelo estudo dos valores médios.

## **PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

Foi organizada uma série histórica de 50 anos de dados diários de precipitação, temperatura máxima e temperatura mínima (1971-2020) no aplicativo *Excel*<sup>4</sup>, em conformidade com a recomendação da Organização Meteorológica Mundial (OMM) sobre a importância de considerar um período extenso e consistente para a detecção de padrões climáticos (WMO, 2017).

---

<sup>4</sup> Excel é marca registrada da *Microsoft Co.*

De modo a verificar a homogeneidade dos dados adquiridos, optou-se pela utilização da técnica de homogeneização do RHTestsV.4<sup>5</sup>, que se configura como um aplicativo gratuito construído na linguagem de programação “R”<sup>6</sup> (Wang, 2008; Wang *et al.*, 2010; Wang, Feng, 2013).

Na interface do RHTests V.4, optou-se pelo teste F (Wang, 2008a, 2008b), que, por não exigir uma estação de referência, pôde ser aplicado de forma independente. Esse teste foi aplicado à série temporal para verificar a presença de tendência linear ao longo do período de registro de dados, ou seja, sem alterações significativas no componente de tendência.

Posteriormente, os dados da série histórica foram processados no aplicativo ClimPACT<sup>7</sup> (Alexander; Herold, 2016) para gerar os índices climáticos. Esse pacote, desenvolvido na linguagem “R”, permitiu uma investigação mais detalhada da variabilidade da temperatura do ar, a fim de analisar tendências e características na série histórica considerada. Esses índices climáticos<sup>8</sup> podem ser aplicados a diferentes setores, como a saúde, agricultura, recursos hídricos, de acordo com o objetivo do estudo.

Foram selecionados três índices do conjunto disponibilizado pela Equipe de Especialistas em Índices Climáticos Específicos do Setor (ET-SCI), vinculados à OMM, para analisar os eventos extremos de calor. Os limiares para esses índices foram definidos de modo a identificar a ocorrência de dias e noites quentes, bem como a contagem desses eventos.

Índices de limite: número de dias em que a temperatura está acima ou abaixo de um limite fixo, sendo para esta pesquisa: TR20 = índice de noites tropicais ( $T_n > 20\text{ °C}$ ); TXge35 = índice de dias muito quentes ( $T_x \geq 35\text{ °C}$ ); TXge30 = índice de dias quentes ( $T_x \geq 30\text{ °C}$ ) (Quadro 1).

**Quadro 1** - Definição dos índices calculados sobre a temperatura do ar para Presidente Prudente – SP.

Índice (ET-SCI)	Nome do índice	Definição	Unidade	Escala Temporal
TR20	Noites tropicais	Contagem anual em que $T_n > 20\text{ °C}$	Dias	Anual/Sazonal
TXge35	Dias muito quentes	Número de dias em que $T_x \geq 35\text{ °C}$	Dias	Anual/Sazonal
TXge30	Dias quentes	Número de dias em que $T_x \geq 30\text{ °C}$	Dias	Anual/Sazonal

Fonte: Adaptado de Zhang *et al.*, 2011.

<sup>5</sup> RHTestsV4 é um pacote de software disponibilizado por Wang, Feng (2013) em: <http://etccdi.pacificclimate.org/software.shtml>.

<sup>6</sup> “R” está disponível enquanto *software* livre sob os termos da *Free Software Foundation's GNU General Public License* no formato de código-fonte.

<sup>7</sup> ClimPACT é um software livre desenvolvido pela equipe de especialistas em índices climáticos setoriais específicos (ET-SCI) da OMM.

<sup>8</sup> Esses índices são um conjunto padronizado e recomendado pela equipe de especialistas em índices climáticos setoriais específicos (ET-SCI).

Para a identificação de tendências estatisticamente significativas para a área de estudo, os dados foram submetidos ao teste de Mann-Kendall (MK) (Mann, 1945; Kendall, 1975). Esse é um procedimento sequencial e não paramétrico frequentemente empregado para analisar séries de dados e detectar possíveis tendências temporais significativas.

O teste de MK possui a vantagem de não requerer normalidade nos registros dos resíduos, ao contrário do modelo de regressão, por exemplo. Além disso, sendo um teste não paramétrico, não faz pressuposições sobre a distribuição dos dados, podendo ser aplicado a séries históricas climatológicas, sejam anuais ou mensais, desde que o conjunto de dados não apresente falhas (Silvestre, 2016).

No teste de MK, as hipóteses alternativas ( $H_A$ ) e nulas ( $H_0$ ) são definidas da seguinte forma:

$H_A$ : existe alguma tendência na série histórica, seja de crescimento ou decrescimento;

$H_0$ : Não há tendência presente na série (Silvestre, 2016).

O teste foi executado utilizando-se o pacote estatístico “*trend*” na interface do *software* “R” e auxiliou na identificação de padrões de aumento, diminuição ou ausência de tendência nos índices de precipitação e de temperatura do ar das séries de dados coletados. Foi estabelecido um nível de significância ( $\alpha$ ) de 5%, o que significa que a hipótese de ausência de tendência foi rejeitada se o p-valor (probabilidade de significância) foi menor que  $\alpha$ .

Para complementar o teste de Mann-Kendall, é importante destacar que ClimPACT permite o cálculo da magnitude das tendências, fazendo-o a partir do teste não-paramétrico da inclinação de Sen (*Sen's Slope*) (Sen, 1968). Essa inclinação reflete a curvatura mediana de todos os pares ordenados e é especialmente adequada para lidar com valores extremos, sendo menos afetada por *outliers*. Além disso, o teste apresenta intervalos de confiança de 95%. Um valor positivo ou negativo de *Sen's Slope* indica se a tendência é crescente ou decrescente para os respectivos índices analisados.

## RESULTADOS

Os índices do ET-SCI, acordados internacionalmente e derivados de diferentes elementos climáticos, permitem uma análise abrangente das características climáticas locais e também regionais e globais, quando considerado um conjunto extenso de dados. Tais índices elucidam alterações na frequência, duração e magnitude de eventos extremos (Alexander *et al.*, 2006; Sillmann *et al.*, 2013; Medeiros; Oliveira; Avila-Diaz, 2022). Em Presidente Prudente,

verificou-se tendência de aumento nos extremos de calor, especialmente nas temperaturas mínimas.

A análise estatística foi essencial para respaldar essas observações. A Tabela 2 apresenta os resultados dos testes de Mann-Kendall e do coeficiente da inclinação de Sen. A combinação desses testes confirmou a tendência, bem como a magnitude linear no conjunto de dados analisados. Ambos os testes foram conduzidos com um nível de significância de 95%. Os índices apresentaram tendência estatística significativa, corroborados pelo valor de 'p'. Os valores em azul indicaram tendência positiva para os índices.

**Tabela 2** - Tendências de índices climáticos de temperatura do ar em escala anual com o teste de tendências de Mann–Kendall e Sen: p-valor < 0,05 são indicados em negrito.

<u>Índice</u>	<u>Escala temporal</u>	<u>Mann-Kendall</u>			<u>Inclinação de Sen</u>
		<u>Z</u>	<u>tau</u>	<u>p-value</u>	<u>Slope</u>
<b>TR20</b>	Anual	<b>4,7806</b>	<b>4,71 x 10<sup>-1</sup></b>	<b>1,75 x 10<sup>-6</sup></b>	<b>1,222222</b>
<b>TXge30</b>	Anual	<b>5,2228</b>	<b>0,513569</b>	<b>1,76 x 10<sup>-7</sup></b>	<b>1,194</b>
<b>TXge35</b>	Anual	<b>4,1143</b>	<b>4,08 x 10<sup>-1</sup></b>	<b>3,88 x 10<sup>-5</sup></b>	<b>0,4242</b>

Fonte: Elaborado pelo autores, 2023.

Na Figura 2 são apresentados os índices de noites tropicais (TR) e de dias quentes (Txge30), que compreendem a contagem de dias anuais de noites tropicais e dias quentes, respectivamente. Foi observado que há tendência significativa de aumento de noites (p-valor de  $1,75 \times 10^{-6}$ ) e dias quentes (p-valor de  $1,76 \times 10^{-7}$ ) em Presidente Prudente.

O índice de TR é determinado conforme o objetivo de cada pesquisador, sendo definido o valor de 20 °C para o presente estudo. Em Presidente Prudente, como é típico de cidades localizadas em ambiente tropical, há considerável registro de dias com temperaturas mínimas diárias superiores a 20 °C, sendo essa ocorrência mais observada nos meses de verão, caracterizada pela elevação das médias das temperaturas máximas e mínimas em Presidente Prudente.

O valor da inclinação de Sen foi de 1,22, apontando um aumento de TR em 61 dias para o período de referência. Nos primeiros anos da série histórica (1971 – 1979) a quantidade de noites tropicais não ultrapassava de 120 dias por ano, apresentando total de dias superior a 140 a partir do ano de 1985. Destaca-se, a partir dos anos 2000, a presença de anos que superaram 180 dias de ocorrência de noites tropicais, sendo concentrada principalmente nos meses de verão, entre dezembro e março, com quase toda a estação registrando temperaturas noturnas

acima dos 20 °C. Esse aumento significativo do índice TR, corroborado pelo valor de *Sen's Slope*, sugere um aquecimento noturno para a cidade.

Esses resultados vão ao encontro de outros trabalhos, como o de Sillmann *et al.* (2013), que apontam para um aumento das noites tropicais nas regiões tropicais, com mais de 100 dias por ano, quadro já observado em Presidente Prudente desde o começo da série histórica.

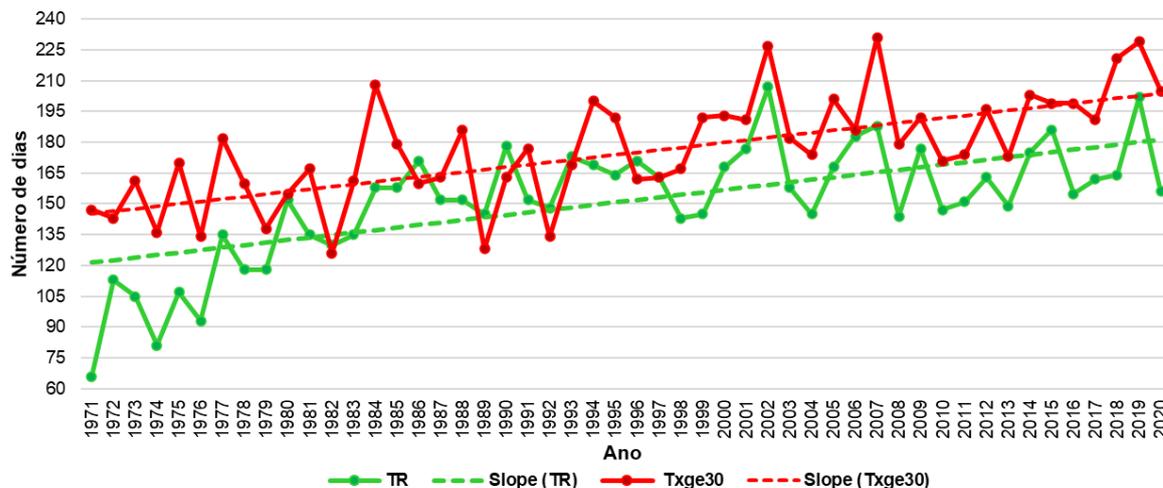
Entre os dias considerados na aplicação do índice de TXge30 (dias de verão), 48,4% apresentaram temperaturas máximas iguais ou superiores a 30 °C. Ao considerar a última década, de 2011 a 2020, em 54% dos dias, as temperaturas máximas ao menos igualaram esse limiar.

Parte desse aumento de calor, tanto para as temperaturas mínimas quanto para as máximas, pode ser explicada pela interação entre a radiação (balanço de energia) e os espaços construídos (Santa'Anna Neto, 2012), que exercem forte influência na atmosfera urbana. Outro fator de difícil dimensionamento é determinar até que ponto as mudanças climáticas, observadas notadamente nas últimas décadas, interferem no aquecimento localmente observado, dada a importância de considerar as diferentes escalas geográficas do clima nas análises e suas interconexões.

Além disso, considerando as características climáticas das cidades situadas em ambiente tropical, destaca-se que as ilhas de calor tendem a reforçar o desconforto térmico e contribuir para efeitos sobre a saúde humana, notadamente em bairros com padrão construtivo inadequado e predominante habitado por populações de baixa renda (Amorim, 2020b).

Na Figura 3, são apresentados os valores para os mesmos índices em um recorte sazonal. Na maior parte dos dias da primavera e do verão, assim como para os últimos 20 anos do outono, verificou-se uma predominância de dias quentes, com temperaturas iguais ou superiores a 30 °C. Considerando o ambiente urbano, principalmente em bairros densamente ocupados e altamente impermeabilizados, essas temperaturas elevadas podem ser potencializadas devido ao calor produzido e armazenado, por exemplo, em coberturas de fibrocimento, como observado em bairros na periferia oeste da cidade. Sant'Anna Neto (2012) argumenta que as temperaturas nesses locais podem ultrapassar os 45 °C, expondo a população a diferentes situações de insalubridade. Isso reforça a importância do clima como fator de qualidade de vida e indicador de justiça social.

**Figura 2** - Contagem anual de dias em que  $T_n > 20\text{ }^\circ\text{C}$  e  $T_x \geq 30\text{ }^\circ\text{C}$  em Presidente Prudente (SP) (noites tropicais e dias quentes).



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

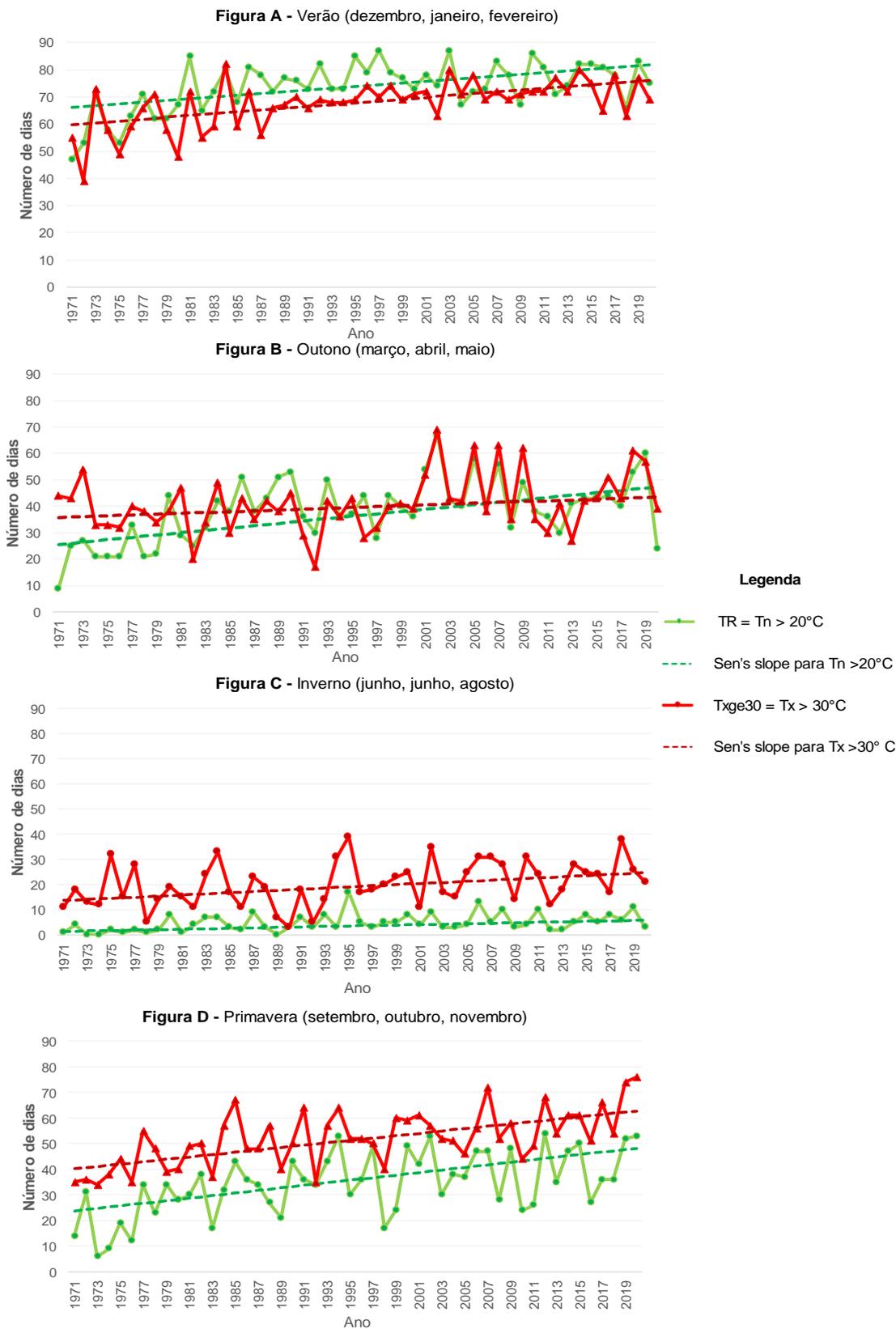
Durante a primavera, observou-se maior diferença entre o número de dias para ambos os índices, o que está de acordo com a maior amplitude térmica observada nesse período do ano. Em Presidente Prudente, na primavera, há o registro de temperaturas máximas extremas, no entanto, as temperaturas mínimas são menos elevadas que no verão, o que explica maior registro de dias quentes em comparação com as noites tropicais.

Para todos os valores, foram identificadas tendências significativas de aumento no calor noturno e diurno. Destaca-se a primavera, que apresentou inclinação mais acentuada nas tendências lineares para TR e Txge30, com os respectivos coeficientes de *Sen's Slope* de 0,5 e 0,46, representando aumento de aproximadamente 25 dias ao longo da série histórica para ambos os índices.

Ao considerar o limiar de  $35\text{ }^\circ\text{C}$ , verificou-se tendência de aumento na ocorrência de dias de calor extremo, sobretudo na última década do período considerado. De 2011 a 2020 foram registrados 35% do total de dias com temperaturas máximas iguais ou superiores a  $35\text{ }^\circ\text{C}$  em relação a todo o período histórico.

Os anos de 2019 e 2020 destacaram-se por registrarem, respectivamente, 58 e 47 dias com temperaturas superiores a  $35\text{ }^\circ\text{C}$ , evidenciando aumento na ocorrência de extremos de temperatura. O valor do *Sen's Slope* foi de 0,424, indicando tendência positiva de ocorrência de dias verão.

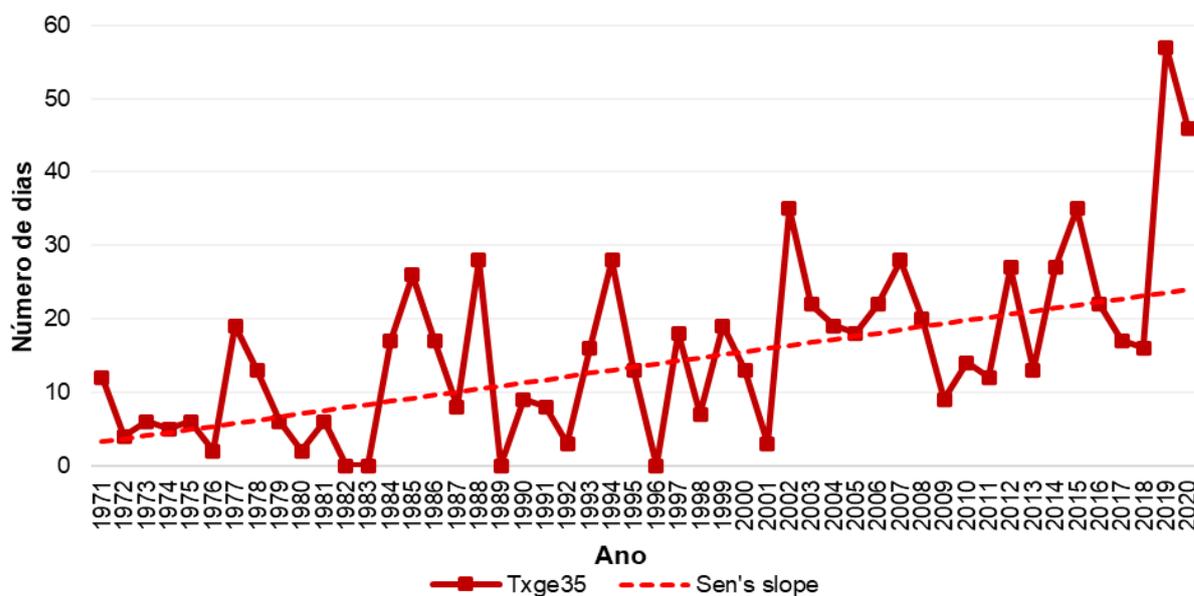
**Figura 3** - Contagem sazonal de dias em que  $T_n > 20\text{ }^\circ\text{C}$  e  $T_x \geq 30\text{ }^\circ\text{C}$  em Presidente Prudente (SP) (noites tropicais / dias quentes).



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Conforme verifica-se na Figura 4, ocorreu aumento no número de dias com temperaturas máximas acima de 35 °C. O ano de 2019 foi uma exceção na série histórica, no qual foram registrados mais de 40 dias com temperaturas extremas, seguido do ano de 2020, com 36 dias.

**Figura 4** - Número de dias com temperaturas máximas superiores a 35 °C em Presidente Prudente (SP) (dias de verão).

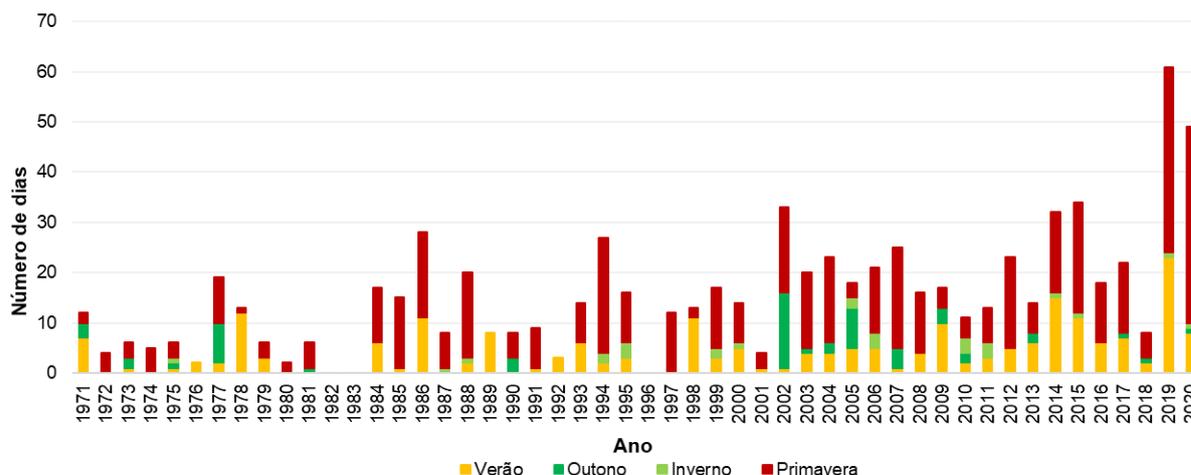


Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Ao verificar os valores sazonais para o índice, observou-se maior concentração de dias com temperaturas acima de 35 °C na primavera, especialmente a partir da década de 2000, com destaque para os anos de 2019 e 2020. Para a primavera, foi verificada tendência de aumento de 13,5 “dias de verão” ao longo da série histórica (coeficiente da inclinação de Sen de 0,27). Para a estação do verão, também foi identificada tendência de aumento de 6 dias ao longo dos anos (coeficiente da inclinação de Sen de 0,12). No entanto, não foi verificada tendência de aumento ou diminuição para o outono e inverno, sendo estas estações menos representativas na ocorrência de eventos de calor extremo (Figura 5).

O padrão observado na primavera, tanto para temperaturas mínimas quanto para as máximas, pode ser parcialmente explicado pelo fato de que esta estação se configura como uma transição entre o inverno e o verão, quando ainda são registradas manhãs mais frias, especialmente no período próximo ao fim do inverno. Ao mesmo tempo, há aumento gradual na duração dos dias, proporcionando maior exposição à radiação solar e sua conversão em calor, afetando o balanço de energia. Isso ocorre principalmente devido à menor umidade relativa do ar na atmosfera e à diminuição da nebulosidade, sendo estas condições atmosféricas habituais para esse período na área de estudo.

**Figura 5** - Número de dias sazonais com temperaturas máximas superiores a 35 °C em Presidente Prudente (SP) (dias de verão).



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

É importante avaliar os sistemas atmosféricos atuantes regionalmente, responsáveis por gerar os eventos de calor extremo. Durante os períodos de maior registro de dias quentes há a predominância da atuação de sistemas estáveis, notadamente a influência da mTa, da massa Tropical atlântica continentalizada (mTac) e, por vezes, a atuação da massa Equatorial continental (mEc) e da massa Tropical continental (mTc). Tais condições podem ser ainda mais potencializadas pela presença de bloqueios atmosféricos, que podem interromper a sucessão normal de sistemas atmosféricos, resultando em anomalias meteorológicas sobre determinada região (Mendes *et al.*, 2005; Rodrigues; Woollings, 2017). Esses fatores podem agravar o desconforto térmico causado pelas ilhas de calor, visto que, durante tais eventos, as temperaturas já se encontram mais elevadas em relação aos padrões climáticos normais.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalho se colocou como uma reflexão para os desafios postos às cidades em ambiente tropical, com destaque para aquelas de porte médio, como no caso de Presidente Prudente. Nesses espaços, as temperaturas altas são uma realidade, o que expõe as populações aos diferentes efeitos do clima urbano, sobretudo aos efeitos das Ilhas de Calor, atestados em diferentes trabalhos, com destaque para os de Amorim (2020a, 2020b).

A reflexão sobre o clima das cidades, no contexto das mudanças climáticas e do contínuo processo de urbanização observado em regiões tropicais, se mostra um desafio significativo para a ciência. Isso ocorre devido à urgente necessidade de se estudar os efeitos do clima urbano e sua interferência na vida das populações. Essa necessidade requer um profundo conhecimento

da área de estudo, incluindo seus aspectos geoambientais, urbanos e históricos. Além disso, exige um planejamento urbano e territorial que seja coerente com as realidades locais e climáticas.

## AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP (processo: 2020/14778-7); ao programa CAPES/COFECUB - processo: 88881.191765/2018-01; Sh 941/19 – projeto: CiCIAMEn (Cidades, Clima e Vegetação: Modelagem e Políticas Públicas Ambientais), pelo apoio financeiro.

## REFERÊNCIAS

ALEXANDER, L. V. *et al.* Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 111, n. D5, 2006. DOI: 10.1029/2005JD006290.

ALEXANDER, L.; HEROLD, N. **ClimPACTv2 Indices and Software**. WMO Commission for Climatology Expert Team on Sector-Specific Climate Indices, 2016. Disponível em: <https://github.com/ARCCSS-extremes/climpact>. Acesso em: 15 abr. 2023.

AMORIM, M. C. C. T. Ilhas de calor urbano em cidades de pequeno e médio porte no Brasil e o contexto das mudanças climáticas. **Confins. Revue franco-brésilienne de géographie**, n. 46, 2020a. DOI: 10.4000/confins.31403.

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

DI GIULIO, G. M. *et al.* Eventos extremos, mudanças climáticas e adaptação no estado de São Paulo. **Ambiente & Sociedade**, v. 22, 2019. DOI: 10.1590/1809-4422asoc0277r1vu19L4AO.

DUBREUIL, V. *et al.* Os tipos de climas anuais no Brasil: uma aplicação da classificação de Köppen de 1961 a 2015. **Confins. Revue franco-brésilienne de géographie**, n. 37, 2018. DOI: 10.4000/confins.15738.

FELIX, M. L. *et al.* Detailed Trend Analysis of Extreme Climate Indices in the Upper Geum River Basin. **Water**, v. 13, n. 22, p. 3171, 2021. DOI: 10.3390/w13223171.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico de 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Regiões de Influência das Cidades 2018**. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=2101728>. Acesso em: 30 jul. 2023.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico de 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change: **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. *et al.* (ed.). Cambridge University Press. In Press. 2021.

- JUNK, J.; GOERGEN, K.; KREIN, A. Future Heat Waves in Different European Capitals Based on Climate Change Indicators. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 16, n. 20, p. 3959, 2019. DOI: 10.3390/ijerph16203959.
- KENDALL, M. G. **Rank Correlation Methods**. 4. ed. Londres: Charles Griffin. 1975.
- MANN, H. B. Nonparametric tests against trend. **Econometrica: Journal of the econometric society**, p. 245-259. 1945.
- MARENCO, J. A. Mudanças climáticas, condições meteorológicas extremas e eventos climáticos no Brasil. *In*: MARENCO, J. A.; SCHAEFFER, R.; PINTO, H. S.; ZEE, D. M. W. **Mudanças climáticas e eventos extremos no Brasil**. Rio de Janeiro: FBDS, 2009. p. 4 - 19.
- MEDEIROS, F. J. *et al.* Evaluation of extreme precipitation climate indices and their projected changes for Brazil: From CMIP3 to CMIP6. **Weather and Climate Extremes**, v. 38, p. 100511, 2022. DOI: 10.1016/j.wace.2022.100511.
- MENDES, M. *et al.* Bloqueios atmosféricos de 1960 a 2000 sobre o oceano Pacífico Sul: impactos climáticos e mecanismos físicos associados. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 20, n. 2, p. 175-190, 2005.
- NOBRE, C. A. *et al.* **Vulnerabilidades das megacidades brasileiras às mudanças climáticas: Região Metropolitana de São Paulo**. São Paulo: INPE, 2010.
- RODRIGUES, R. R.; WOOLLINGS, T. Impact of atmospheric blocking on South America in austral summer. **Journal of Climate**, v. 30, n. 5, p. 1821-1837, Mar. 2017. DOI: 10.1175/JCLI-D-16-0493.1.
- SANT'ANNA NETO, J. L. O clima como risco, as cidades como sistemas vulneráveis, a saúde como promoção da vida. **Cadernos de geografia**, Coimbra, n. 30-31, p. 215-228, 2012. Disponível em: [https://impactum-journals.uc.pt/cadernosgeografia/article/view/31\\_20/1564](https://impactum-journals.uc.pt/cadernosgeografia/article/view/31_20/1564). Acesso em: 8 maio 2022.
- SEN, P. K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. **Journal of the American statistical association**, v. 63, n. 324, p. 1379-1389, 1968.
- SILLMANN, J. *et al.* Climate extremes indices in the CMIP5 multimodel ensemble: Part 1. Model evaluation in the present climate. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 118, n. 6, p. 716–1733, April. 2013a. DOI: 10.1002/jgrd.50203.
- SILVESTRE, M. R. **Técnicas estatísticas utilizadas em climatologia geográfica: diagnóstico e propostas**. 2016. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2016.
- SUN, Q. *et al.* A Global, Continental, and Regional Analysis of Changes in Extreme Precipitation. **Journal of Climate**, v. 34, n. 1, p. 243-258, 2021. DOI: 10.1175/JCLI-D-19-0892.1.
- UN - United Nations. **The Sustainable Development Goals Report 2021**. Nova Iorque: United Nations Statistics Division. 2023. Disponível em: <https://unstats.un.org/sdgs/report/2021>. Acesso em: 25 maio de 2023.
- UN-HABITAT - United Nations. Human Settlements Programme. **World Cities Report 2022: Envisaging the Future of Cities**. Nairobi: UN-Habitat, 2022.
- WANG, X. L. Penalized Maximal F Test for Detecting Undocumented Mean Shift without Trend Change. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, v. 25, n. 3, p. 368-384, 2008a. DOI: 10.1175/2007JTECHA982.1.

WANG, X. L. Accounting for Autocorrelation in Detecting Mean Shifts in Climate Data Series Using the Penalized Maximal t or F Test. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 47, n. 9, p. 2423–2444, 2008b. DOI: 10.1175/2008JAMC1741.1.

WANG, X. L. *et al.* New techniques for detection and adjustment of shifts in daily precipitation data series. **J. Appl. Meteor. Climatol.** v. 49, n. 12, p. 2416-2436, Dec. 2010. DOI: 10.1175/2010JAMC2376.1.

WANG, X. L.; FENG, Y. **RHtestsV4 User Manual**. Toronto: Climate Research Division, Atmospheric Science and Technology Directorate, Science and Technology Branch, Environment Canada. 2013. Disponível em: [https://etccdi.pacificclimate.org/RHtest/RHtestsV4\\_UserManual\\_10Dec2014.pdf](https://etccdi.pacificclimate.org/RHtest/RHtestsV4_UserManual_10Dec2014.pdf). Acesso em: 5 set. 2023, 28 p.

ZHANG, X. *et al.* Indices for monitoring changes in extremes based on daily temperature and precipitation data. **WIREs Climate Change**, v. 2, n. 6, p. 851–870, oct. 2011. DOI: 10.1002/wcc.147.

## **SIMULAÇÃO DO MICROCLIMA EM CIDADE TROPICAL UTILIZANDO O MODELO NUMÉRICO ENVI-MET**

*Renata dos Santos Cardoso  
Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim*

### **INTRODUÇÃO**

Os efeitos combinados das alterações climáticas e dos eventos extremos de calor provocam o aumento do estresse térmico nas áreas urbanas e dos riscos associados à saúde da população. Devido à urgente necessidade de adaptação, as investigações sobre o clima são cada vez mais imprescindíveis para orientar políticas de planejamento pautadas na busca de soluções para a melhoria da qualidade de vida.

A temperatura do ar no dossel urbano (*urban canopy layer* – UCL) (Oke, 1976) constitui uma variável de diagnóstico do impacto do aquecimento urbano e das características específicas que propiciam o aquecimento diferenciado na cidade. Além do benefício de vincular as alterações da temperatura aos seus processos causais, medições *in situ* acompanhadas das propriedades da superfície têm sido utilizadas para calibrar e avaliar modelos que simulam a interação complexa entre o ambiente urbano e a atmosfera (Stewart; Mills, 2021).

O ENVI-met (Bruse; Fler, 1998) é um dos modelos capazes de simular as interações em microescala entre superfícies, vegetação e a atmosfera urbana, com a vantagem de associá-lo ao sistema de classificação “zona climática local” (*Local Climate Zone* – LCZ) (Stewart; Oke, 2012), que pode fornecer parâmetros de entrada para o modelo, possibilitando simular variáveis em diferentes arranjos de paisagem e contextos climáticos.

Apesar dos avanços dos recursos computacionais nas últimas décadas e da popularização das simulações numéricas para a análise do clima urbano (Arnfield, 2006; Souch; Grimmond, 2006), a maioria dos estudos ainda é realizada em grandes cidades nas latitudes médias (Roth, 2007; Toparlar *et al.*, 2017).

Nesse sentido, esse estudo apresenta o processo de simulação das condições microclimáticas típicas do verão em um bairro compacto de média elevação (LCZ 2) de Presidente Prudente-SP, utilizando-se o modelo ENVI-met para investigar os fatores que geram

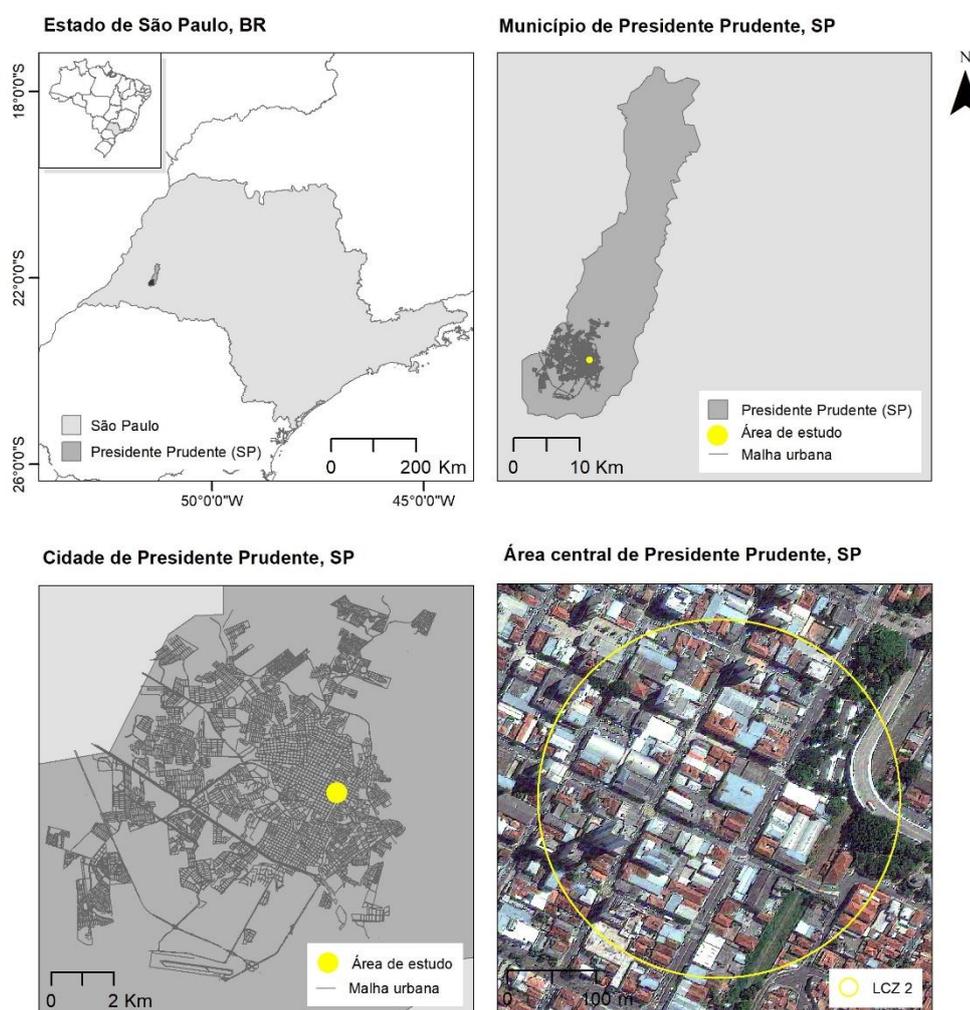
o microclima em uma cidade tropical, onde o impacto das ondas de calor tende a ser mais exacerbado.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### ÁREA DE ESTUDO

Localizada no extremo oeste do estado de São Paulo ( $22^{\circ}7'39''\text{S}$ ,  $51^{\circ}23'8''\text{O}$ ) (Figura 1), Presidente Prudente possui  $60,83 \text{ km}^2$  de área urbanizada e população de 225.668 habitantes (IBGE, 2022).

**Figura 1** - Localização da área de estudo em Presidente Prudente-SP, Brasil.



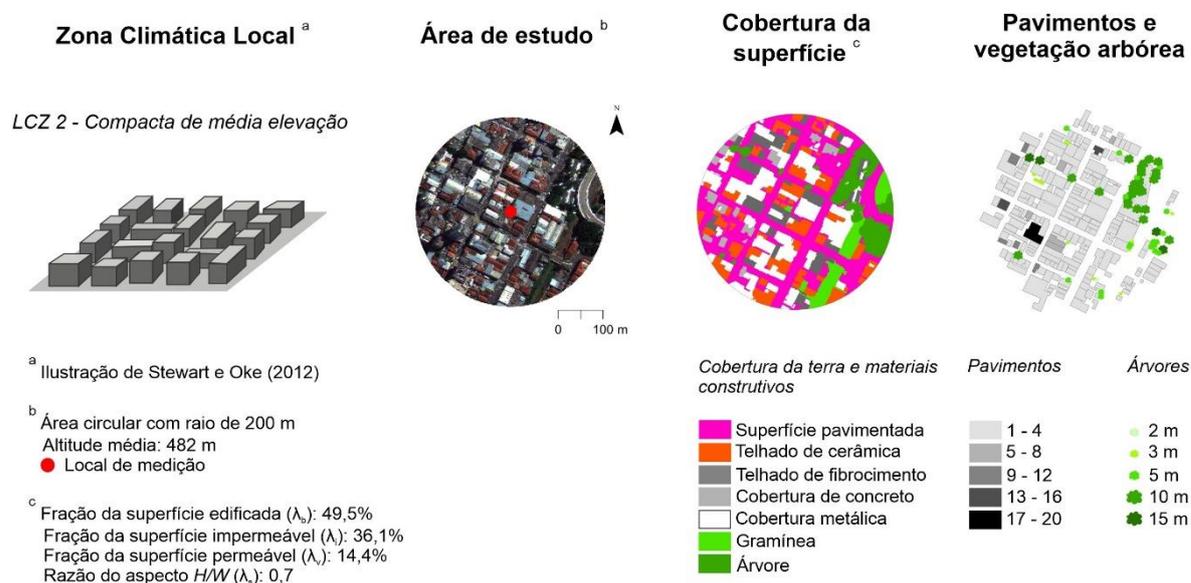
Fonte: Elaborado pelas autoras, 2023.

A cidade apresenta um regime de clima tropical com estação seca de inverno (Aw), segundo a classificação de Köppen (Dubreuil *et al.*, 2019), com temperaturas máximas do ar de até  $40^{\circ}\text{C}$  durante a primavera e o verão, médias entre  $20^{\circ}\text{C}$  e  $23^{\circ}\text{C}$  no outono e no inverno, e

precipitação média anual de aproximadamente 1.300 mm (período de registro: 1969–2019) (INMET, 2019).

Na área urbana, há uma combinação de paisagens heterogêneas em espaços reduzidos, onde lotes densamente construídos, com edifícios de baixa elevação e arborização esparsa ou ausente, são características típicas da maioria dos bairros residenciais. Já a área de estudo, no centro de Presidente Prudente, é relativamente mais densa, com ruas estreitas, predomínio de edifícios comerciais de média elevação, poucas árvores dispersas e intenso fluxo de pessoas e veículos (Figura 2).

**Figura 2** - Propriedades da superfície na LCZ 2 em Presidente Prudente-SP.



Fonte: Adaptado de Cardoso *et al.* (2018) e Cardoso (2021).

Com cerca de 50% da sua superfície edificada, os principais materiais de construção compreendem o concreto, o telhado de cerâmica e a cobertura metálica. As ruas e calçadas pavimentadas correspondem à superfície impermeável (36,1%), e menos de 15% da área possui vegetação.

Essa configuração da LCZ 2 em Presidente Prudente, que contribui para a formação de ilhas de calor de grande magnitude ( $\Delta T_{LCZ2-B} > 5 \text{ }^\circ\text{C}$ ) (Cardoso, 2021), conduziu a investigação das condições microclimáticas para compreender os fatores que intensificam o aquecimento do ar do dossel urbano e afetam as pessoas que frequentam o ambiente externo.

## MODELO MICROCLIMÁTICO ENVI-MET

O ENVI-met é um sistema holístico de modelagem microclimática, baseado na Dinâmica de Fluidos Computacional (*Computational Fluid Dynamics* – CFD), que foi desenvolvido para simular as interações entre superfícies, plantas, atmosfera e ambientes urbanos (Bruse; Fleer, 1998; Huttner, 2012).

O modelo principal é projetado com duas dimensões horizontais (x e y) e uma vertical (z), no qual a representação dos elementos urbanos e naturais da área de interesse é realizada em células de *grids*. A resolução horizontal típica de cada célula varia de 1 a 10 m, sendo que para a dimensão vertical, um modelo 1D é acoplado ao topo do modelo 3D e se estende até 2.500 m de altura para simular processos na camada limite (Bruse; Fleer, 1998; Bruse, 2004, 2019).

Por ser desenvolvido inicialmente para os climas temperados, as configurações básicas do ENVI-met não correspondem necessariamente aos climas tropicais, sendo necessário inserir dados representativos da área de estudo (cobertura da superfície, morfologia e materiais) para garantir condições de inicialização adequadas.

Como o modelo simula apenas uma parte da atmosfera, também são necessárias condições meteorológicas de contorno para as bordas do modelo tridimensional. Estas podem ser definidas ao usar a ferramenta *full forcing*, que permite a inserção de dados como temperatura do ar, umidade relativa, velocidade e direção do vento, radiação ou cobertura de nuvens, e precipitação.

Além de auxiliar na configuração do modelo e proporcionar condições para o ENVI-met executar simulações condizentes com a realidade, o rigor na caracterização da área urbana e definição das condições meteorológicas fornece um contexto apropriado para a interpretação dos resultados modelados (Krayenhoff *et al.*, 2021).

Portanto, tão importante quanto uma base de dados criteriosa é a confiabilidade dos resultados das simulações, que deve ser aprimorada através da calibração e avaliação do modelo. Nesse processo, os resultados do modelo são comparados com dados medidos *in situ*, e estatísticas de validação são calculadas para realizar avaliações informadas a respeito dos erros, tendências e desempenho geral da modelagem (Willmott, 1981).

## CALIBRAÇÃO DO ENVI-MET

A calibração do modelo se refere ao ajuste dos parâmetros de entrada para que ele simule a realidade observada de forma coerente. A avaliação dos resultados desse processo visa garantir que o modelo possa representar a variação espaço-temporal das variáveis meteorológicas do cenário base de estudo.

Para a modelagem do microclima na LCZ 2, utilizou-se o ENVI-met *Student*, versões 4.4.4 e 4.4.5. O processo de calibração envolveu sucessivas simulações com ajustes dos parâmetros de entrada, desde a revisão das propriedades dos elementos representados e diferentes resoluções de *grids*, até a alteração das dimensões do domínio do modelo, das condições meteorológicas de contorno e configurações de inicialização (Cardoso, 2021).

O modelo geométrico, por exemplo, foi gerado a partir de bibliografia consolidada e levantamentos sobre tipos de solos (Antonio, 2017), propriedades da superfície (Frota; Schiffer, 2012; Oke *et al.*, 2017), cobertura dos edifícios (Cardoso *et al.*, 2018), propriedades físicas e térmicas dos materiais construtivos (Ferreira; Prado, 2003; Morishita *et al.*, 2010; Gusson, 2014; Oke *et al.*, 2017; Coelho, 2017; Silva, 2019), quantidade de pavimentos dos edifícios (Cardoso, 2021) e estimativa da altura média dos edifícios e árvores (Neufert, 2013; Presidente Prudente, 2018; Silva *et al.*, 2018; Cardoso, 2021).

Por sua vez, a escolha do episódio típico de verão para a modelagem teve como base a análise dos dados meteorológicos do mês de dezembro de 2015, registrados pela estação Presidente Prudente-A707 do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). A estação, situada no campus da Faculdade de Ciências e Tecnologia da UNESP, encontra-se instalada sobre superfície permeável com vegetação rasteira e árvores esparsas, em distância reta de cerca de 2,5 km da área de estudo da LCZ 2.

Após identificar as condições sinóticas ideais, selecionou-se o dia 17 de dezembro por apresentar situação de calmaria ou ventos fracos e ausência de nuvens, uma vez que essas características atmosféricas exercem grande controle nas diferenças térmicas intraurbanas. Em seguida, os dados meteorológicos do INMET e as informações sobre nebulosidade do sistema ASOS (*Automated Surface Observing System*) foram utilizados para gerar o arquivo das condições de contorno meteorológicas representativas do verão.

Durante esse período, um *data logger* HOBO (U23-002), instalado na LCZ 2 com abrigo de radiação solar RS3, registrou dados horários de temperatura e umidade relativa do ar (acurácia:  $\pm 0,21$  °C e  $\pm 2,5\%$ , respectivamente) a 2 m da superfície (Amorim, 2017, 2020). Essas

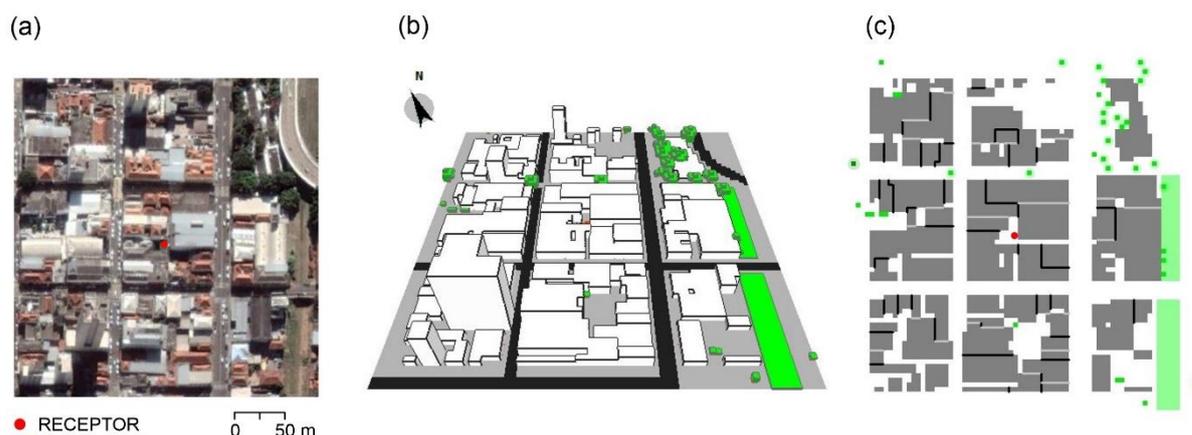
variáveis foram utilizadas para validar os resultados do modelo e avaliar a precisão das simulações através do cálculo da raiz do erro quadrático médio (*Root Mean Square Error – RMSE*), o desvio das médias (*Mean Bias Error – MBE*) e o índice de concordância de Willmott (*Index of Agreement – d*) (Willmott, 1981, 1982).

Através desses procedimentos, obteve-se a configuração adequada da morfologia, cobertura da superfície, materiais, e condições meteorológicas para a simulação. Sendo assim, ressalta-se que os parâmetros gerais apresentados nesse estudo correspondem ao cenário projetado com maior precisão, considerando o ENVI-met calibrado para condições geométricas e climáticas da LCZ 2.

### PARÂMETROS DE ENTRADA

O domínio selecionado corresponde a um recorte do bairro em torno do ponto onde as medições foram realizadas, com dimensões de 300 m x 300 m (Figura 3a). Para a elaboração do modelo geométrico (Figuras 3b e 3c), foram adotados *grids* de resolução horizontal x e y = 4 m e vertical z = 3 m, cuja abrangência foi representada por um total de 75 x 75 x 45 *grids*. A dimensão vertical se estende a 135 m acima da superfície, com *grid* vertical equidistante e divisão da célula inferior em cinco camadas para gerar resultados mais precisos próximos à superfície.

**Figura 3** - Vista aérea e modelo geométrico da área do domínio da LCZ 2.



Fonte: Elaborado pelas autoras, 2023.

A área do domínio foi rotacionada ( $25,79^\circ$ ) para alinhá-la aos *grids* e reduzir bordas irregulares nos edifícios, e 4 *nesting grids* foram adicionadas no limite do domínio para diminuir os efeitos de borda e aumentar a estabilidade numérica da simulação. Além disso, um

receptor foi adicionado no local de medições da LCZ 2 para proporcionar a comparação dos resultados do modelo com as variáveis climáticas.

O episódio representativo do verão, 17 de dezembro de 2015, apresentou temperatura máxima de 33,9 °C, média de 27,2 °C e mínima de 21,9 °C. Nesse dia, a umidade relativa do ar variou entre 44% e 85%, enquanto a velocidade média do vento foi de 1,3 m s<sup>-1</sup>, com direção predominante de leste (INMET, 2019).

Tendo em vista que as primeiras 24 horas da simulação são destinadas ao tempo de rotação do modelo, ou seja, à repetição completa do ciclo diurno de forçamento térmico do sistema para ajustar os perfis de temperatura, adotou-se um período total de 70 horas, com início às 0 h do dia 16 de dezembro de 2015 e término às 23 h do dia 18 de dezembro de 2015 (quadro a seguir). Essa abordagem requer mais tempo de execução, mas aumenta o desempenho geral do modelo (Middel *et al.*, 2014; Krayenhoff *et al.*, 2021).

Dessa forma, o arquivo climático de entrada com as condições atmosféricas para o *full forcing* do ENVI-met foi gerado a partir dos dados registrados pela estação meteorológica do INMET (Presidente Prudente-A707) entre os dias 16 e 18 de dezembro de 2015.

**Quadro** - Parâmetros utilizados para configurar a geometria do modelo e os dados de inicialização da simulação.

<b>Configuração do ENVI-met</b>	
<i>Geometria do modelo</i>	
Quantidade de células do <i>grid</i> (x, y, z)	75 x 75 x 45
Dimensão da célula do <i>grid</i> (dx, dy, dz*) (m)	4 x 4 x 3
Dimensão do domínio (m)	300 x 300 x 135
<i>Nesting grids</i> **	4
Rotação (°)	25,79
<i>Parâmetros de entrada</i>	
Dia de início da simulação	16/12/2015
Horário de início da simulação (h, min, s)	0 h 00 min 00 s
Tempo total da simulação (h)	70
Condições atmosféricas de contorno (INMET)	<i>full forcing</i>

\**Grid* vertical equidistante: célula inferior dividida em 5 camadas.

\*\*Espaço extra entre os edifícios e a borda do modelo adicionado pelos *nesting grids* = 56 m. Distância total entre os edifícios e a borda do modelo = 72 m.

Fonte: Elaborado pelas autoras, 2023.

Após criar os arquivos necessários dos modelos geométrico e climático e definir os parâmetros de inicialização, a simulação do cenário da LCZ 2 foi executada em um notebook *Inspiron 15 Série 5000*, processador Intel® Core™ i5-8265U 8ª geração, sistema operacional

Windows 10 *Home Single Language*, com 8GB de memória RAM e disco rígido de 1TB (tempo de processamento = 6 dias e armazenamento = 18GB).

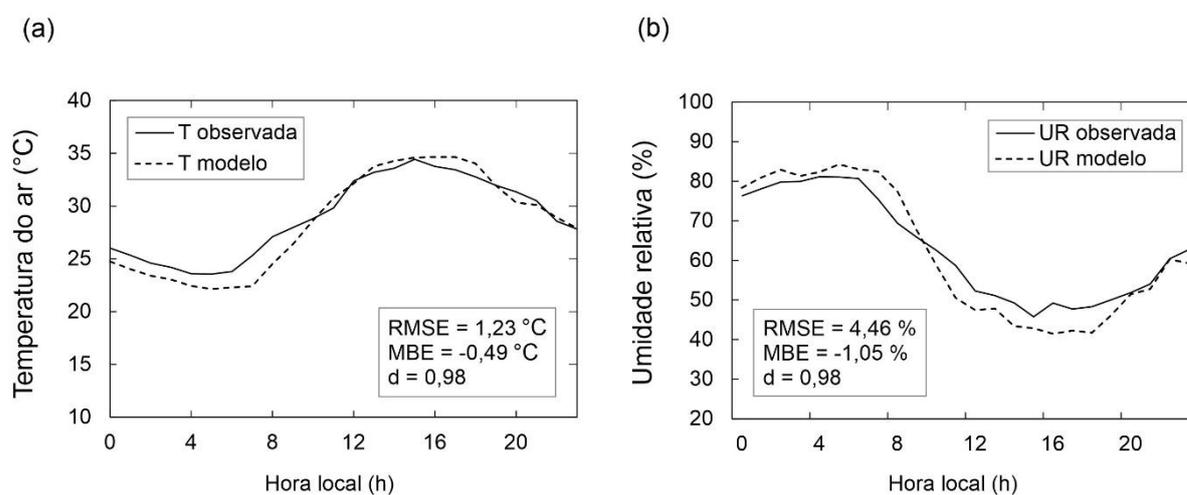
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### AVALIAÇÃO DA CALIBRAÇÃO

A avaliação da calibração do ENVI-met considerou os valores de temperatura do ar ( $T$ ) e umidade relativa ( $UR$ ) medidos *in situ* e os resultados das simulações obtidos no receptor adicionado no mesmo local onde foram realizadas as medições. A validação de cada variável foi baseada em 24 pares ( $n$ ) de valores previstos pelo modelo e registrados na LCZ 2 em 17 de dezembro de 2015.

Os gráficos da Figura 4 ilustram as curvas de  $T$  e  $UR$  registradas na LCZ 2 em comparação com os valores previstos pelo modelo no episódio de verão. A análise dos ciclos de  $T$  revelou a tendência do modelo em subestimar a temperatura do ar durante a manhã e superestimar os valores no período da tarde. A diferença máxima entre os dados observados e previstos atingiu  $-2,9\text{ }^{\circ}\text{C}$  às 7 h, sendo que entre 10 h e 23 h houve maior correspondência entre os dados, com o predomínio de  $\Delta T$  inferiores à  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Figura 4a).

**Figura 4** - Comparação entre as variáveis observadas na LCZ 2 e simuladas pelo ENVI-met em 17 de dezembro de 2015.



Fonte: Elaborado pelas autoras, 2023.

A previsão de  $UR$  apresentou maior diferença em relação aos dados observados, com a tendência geral do modelo em superestimar a umidade relativa do ar entre 0 h e 9 h e subestimar os percentuais entre 10 h e 23 h. O ajuste das curvas de  $UR$  foi menor no ciclo diurno, com

$\Delta UR = -8,2\%$  às 11 h, enquanto no período noturno os valores simulados e medidos foram similares (Figura 4b).

Com base nas estatísticas de validação, os resultados do ENVI-met foram mais precisos para a temperatura do ar (RMSE = 1,23 °C e  $d = 0,98$ ), com uma pequena tendência em subestimar essa variável (MBE = -0,49 °C). Para a umidade do ar, verificou-se RMSE = 4,46%, MBE = -1,05% e concordância elevada ( $d = 0,98$ ) entre os valores medidos e previstos.

Os desvios observados nas curvas dos dados podem sugerir a necessidade de parâmetros mais refinados no modelo geométrico, mas também refletir as diferenças entre os ambientes da LCZ 2 e da estação do INMET, cujos dados geraram as condições meteorológicas de contorno do modelo. Apesar disso, os valores dos indicadores obtidos estão dentro da faixa de estatísticas consideradas adequadas para o ENVI-met na literatura.

Em Phoenix-AZ, Estados Unidos, Middel *et al.* (2014) investigaram o impacto da forma e do desenho urbano no microclima por meio de simulações com o ENVI-met 3.1. O modelo foi calibrado para representar o ambiente desértico em condições de verão e a avaliação da precisão dos resultados da temperatura do ar indicou RMSE = 1,41–2,00 °C, MBE = -0,02–1,20 °C e  $d = 0,97$ –0,99.

Na Itália, Battista, Carnielo e Vollaro (2016) avaliaram o impacto de um conjunto de edifícios nas condições climáticas locais de um bairro popular em Roma durante o verão. Nesse estudo, os autores utilizaram o ENVI-met 4 e a validação da calibração incluiu dados de temperatura (RMSE = 1,64 °C, MBE = -0,01 °C e  $d = 0,99$ ) e umidade relativa do ar (RMSE = 8,77%, MBE = -1,57% e  $d = 0,90$ ).

No Brasil, Gusson e Duarte (2016) calibraram o modelo ENVI-met 4 para bairros de alta e baixa densidade construtiva na cidade de São Paulo, durante condições meteorológicas estáveis de outono. A validação dos resultados também foi realizada através de comparações da temperatura do ar medidas e simuladas, com RMSE = 1,60–1,90 °C e  $d = 0,85$ –0,92.

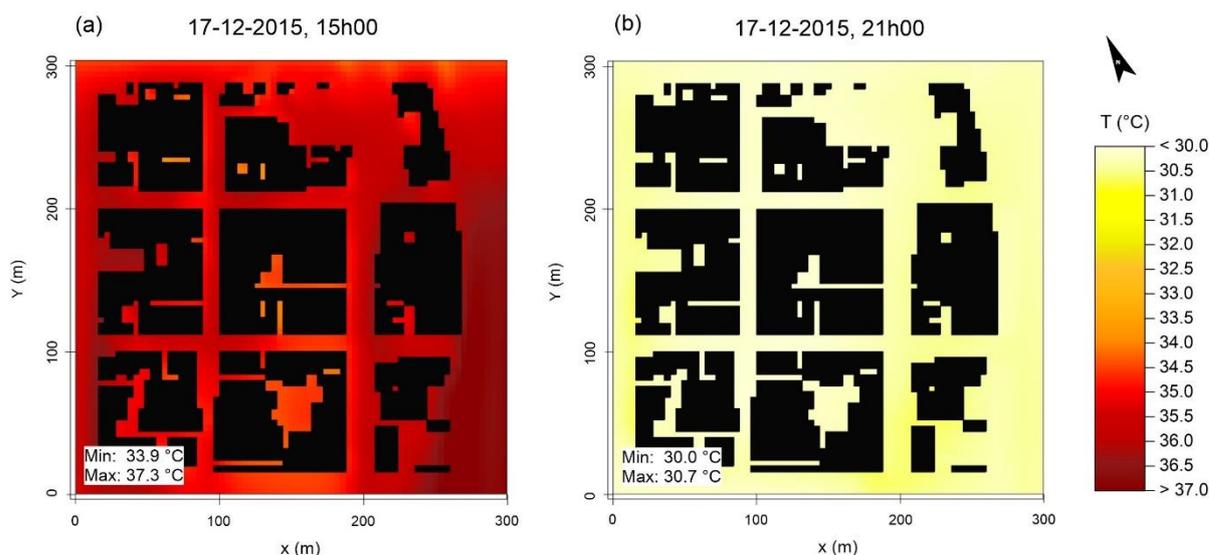
#### **CENÁRIOS DE TEMPERATURA DO AR E UMIDADE RELATIVA**

Na discussão a seguir, o foco da análise será na distribuição espacial e na variação das temperaturas do ar ( $T$ ) e umidade relativa ( $UR$ ) às 15 h e às 21 h. Os resultados das simulações se referem aos dados extraídos do receptor a 2 m da superfície, utilizados para elaborar cada cenário com a ferramenta Leonardo incluída no ENVI-met.

Para os cenários de temperatura do ar (Figura 5), a área do domínio da LCZ 2 apresentou temperatura média de 35,6 °C às 15 h e 30,3 °C às 21 h. A variação espacial intraurbana foi de 3,4 °C no período da tarde e 0,7 °C à noite, sendo que a análise do padrão de distribuição de  $T$  permitiu identificar relações não só com os efeitos de borda do domínio, mas principalmente com os elementos urbanos e naturais, e a incidência de radiação solar.

Às 15 h (Figura 5a), a borda direita do domínio, sem edifícios e coberta por vegetação rasteira, exibiu valores acima de 36 °C, enquanto as menores temperaturas nos pátios e nas laterais das construções podem ser relacionadas ao “efeito sombra” dos edifícios. Por sua vez, a menor variação espacial de  $T$  no período noturno (Figura 5b) reflete um padrão esperado, considerando a ausência de radiação solar e a relativa homogeneidade das construções e da superfície dentro da área de abrangência da LCZ 2.

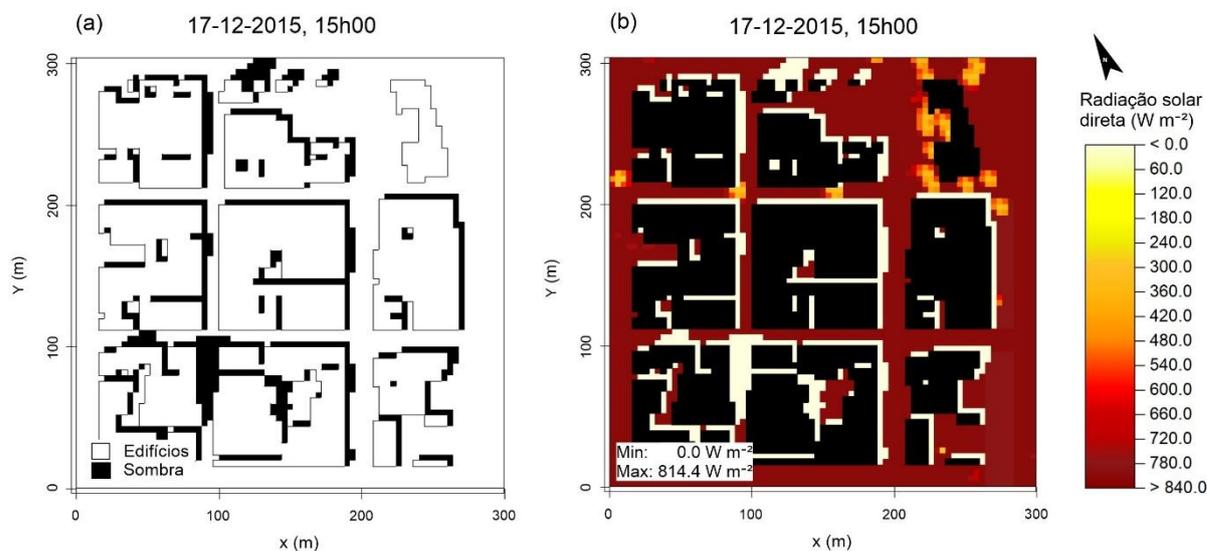
**Figura 5** - Temperatura do ar simulada pelo ENVI-met às 15 h e 21 h em 17 de dezembro de 2015.



Fonte: Elaborado pelas autoras, 2023.

De maneira geral, a amplitude térmica no período diurno está associada à incidência de radiação solar e às trocas radiativas distintas entre a superfície urbana multifacetada e a atmosfera (Oke *et al.*, 2017). Nesse sentido, o formato compacto de média elevação e as árvores esparsas minimizaram a exposição de parte das ruas e paredes dos edifícios à radiação solar direta (figuras 6a e 6b), proporcionando o aquecimento do ar subjacente de forma diferenciada.

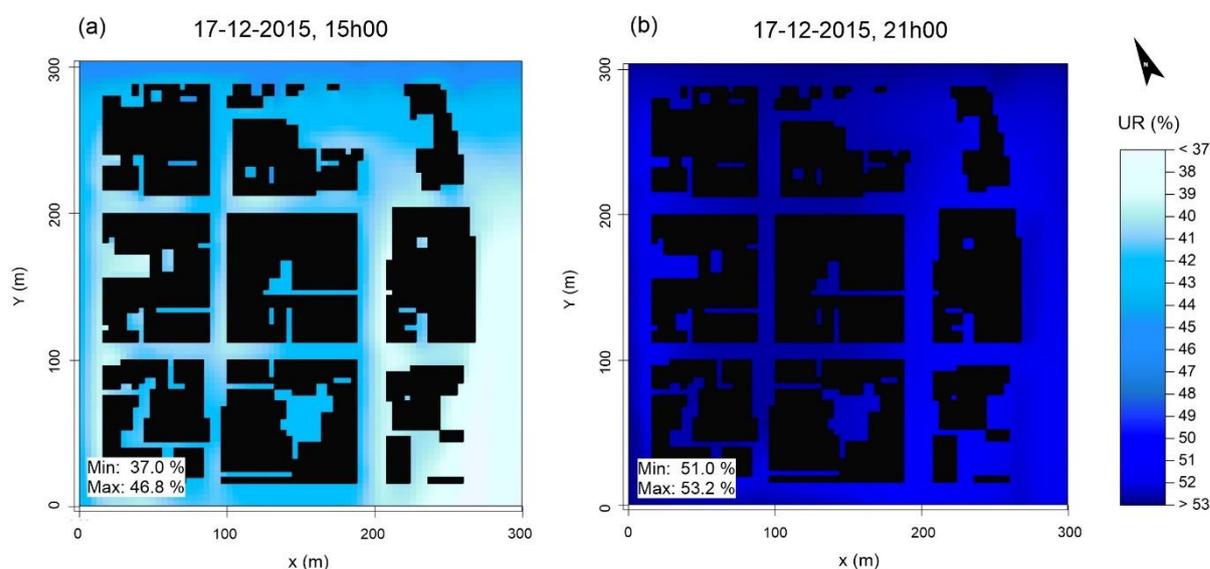
**Figura 6** - Projeção da sombra dos edifícios e radiação solar direta simuladas pelo ENVI-met às 15 h em 17 de dezembro de 2015.



Fonte: Elaborado pelas autoras, 2023.

Os cenários de umidade relativa apresentaram *UR* média de 41,3% no período da tarde, com valor mínimo de 37% sobre as áreas sem construções e/ou expostas à radiação solar, e máximo de 46,8% nos pátios entre os edifícios (Figura 7a). Às 21 h, verificou-se *UR* média de 52,3% para a área do domínio, com variação espacial noturna relativamente pequena (2,2%) (Figura 7b).

**Figura 7** - Umidade relativa do ar simulada pelo ENVI-met às 15 h e 21 h em 17 de dezembro de 2015.



Fonte: Elaborado pelas autoras, 2023.

Devido à dependência da umidade relativa à temperatura do ar, a distribuição espacial de *UR* apresentou correspondência inversa ao padrão dos cenários de *T*, indicando o quão próximo da saturação o ar estava de acordo com as temperaturas presentes na área da LCZ 2.

Apesar da menor quantidade de estudos sobre o efeito urbano na umidade do ar em ambientes tropicais, a variação de *UR* entre 15 h e 21 h apresentou similaridade com o padrão geral descrito por Oke *et al.* (2017). No verão, há um déficit de umidade diurna, que resulta, principalmente, da menor taxa de evaporação na área urbana, enquanto o excedente verificado no período noturno provavelmente resulta do vapor de água adicional derivado das atividades antrópicas.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os modelos numéricos constituem uma ferramenta robusta que pode ser utilizada para representar a complexidade encontrada nas cidades, simular as interações entre a superfície e a atmosfera, auxiliar na avaliação do impacto das áreas urbanas no clima local e simular cenários de adaptação.

A simulação do microclima na LCZ 2 em Presidente Prudente envolveu a calibração do ENVI-met para a área de estudo e a validação a partir de observações *in situ*, fundamentais para melhorar o desempenho do modelo, avaliar as tendências e garantir a confiabilidade dos resultados (Lahme; Bruse, 2003; Crank *et al.*, 2020). O processo de calibração e avaliação do modelo indicou bom ajuste entre os dados observados e os previstos nas simulações, principalmente com a variável temperatura do ar, cujas estatísticas de desempenho apresentaram RMSE = 1,23 °C e índice de concordância de Willmott (*d*) = 0,98.

Com relação aos cenários base previstos sob condições típicas de verão, a análise da temperatura do ar e umidade relativa contribuiu para o conhecimento sobre a influência da forma construída, das propriedades da superfície e da orientação em relação ao Sol na distribuição espacial e amplitude das variáveis na área de estudo.

Assim, os resultados obtidos nesse estudo de caso podem fornecer dados relevantes para pesquisas futuras, preencher lacunas na literatura relacionadas às cidades de clima tropical, e ajudar o poder público local a avaliar intervenções de planejamento necessárias para a mitigação do calor urbano e adaptação da cidade às mudanças climáticas.

## AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq (processo: 141424/2017-6); à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES (processo: PDSE 88881.188727/2018-01), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP (processos: 2017/03514-6 e 2019/23517-5); ao programa CAPES/COFECUB - processo: 88881.191765/2018-01; Sh 941/19 – projeto: CiCIAMEn (Cidades, Clima e Vegetação: Modelagem e Políticas Públicas Ambientais), pelo apoio financeiro. Ao Prof. Dr. James A. Voogt pelas contribuições com a modelagem numérica.

## REFERÊNCIAS

AMORIM, M. C. C. T. **Teoria e método para o estudo das ilhas de calor em cidades tropicais de pequeno e médio porte**. 2017. Tese (Livre Docência) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2017.

AMORIM, M. C. C. T. **Ilhas de calor em cidades tropicais de médio e pequeno porte: teoria e prática**. 1. ed. Curitiba: Appris, 2020. 161 p.

ANTONIO, J. N. **Classificação de Antropossolos em áreas de antigos depósitos de resíduos sólidos urbanos em Presidente Prudente-SP: contribuição metodológica**. 2017. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2017.

ARNFIELD, A. J. Micro- and mesoclimatology. **Progress in Physical Geography**, v. 30, n. 5, p. 677-689, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1177/0309133306071150>.

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

BRUSE, M.; FLEER, H. Simulating surface–plant–air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model. **Environmental Modelling & Software**, v. 13, n. 3-4, p. 373-384, 1998. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1364-8152\(98\)00042-5](https://doi.org/10.1016/S1364-8152(98)00042-5).

BRUSE, M. **ENVI-met 3.0: Updated Model Overview**. 2004. Disponível em: <https://www.envi-met.net/documents/papers/overview30.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2018.

BRUSE, M. **ENVI-MET**. 2019. Disponível em: <https://www.envi-met.com>. Acesso em: 21 jan. 2019.

CARDOSO, R. S.; AMORIM, M. C. C. T.; LIU, D.; MONTENEGRO, A. Using high-resolution satellite imagery to characterize local climate zones in Presidente Prudente, Brazil. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATE*, 10., 2018, New York City. **Proceedings [...]**. New York City: ICUC10, 2018. Disponível em: <https://ams.confex.com/ams/ICUC10/meetingapp.cgi/Paper/341504>. Acesso em: 11 jan. 2019.

CARDOSO, R. S. **Modelagem do microclima e estratégias de mitigação do calor urbano em zonas climáticas locais**. 2021. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2021.

COELHO, T. C. C. **Efeitos do envelhecimento natural no desempenho térmico de telhas onduladas de fibrocimento sem amianto**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2017.

CRANK, P. J.; SAILOR, D. J.; BAN-WEISSB, G.; TALEGHANIC, M. Evaluating the ENVI-met microscale model for suitability in analysis of targeted urban heat mitigation strategies. **Urban Climate**, v. 26, p. 188-197, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2018.09.002>.

DUBREUIL, V.; FANTE, K. P.; PLANCHON, O.; SANT'ANNA NETO, J. L. Climate change evidence in Brazil from Koppen's climate annual types frequency. **International Journal of Climatology**, v. 39, n. 3, p. 1446-1456, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.5893>.

FERREIRA, F. L.; PRADO, R. T. A. **Medição do albedo e análise de sua influência na temperatura superficial dos materiais utilizados em coberturas de edifícios no Brasil**. São Paulo: EPUSP, 2003. Disponível em: [http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/BT\\_00351.pdf](http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/BT_00351.pdf). Acesso em: 25 jan. 2019.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. T. **Manual de Conforto Térmico**. 8. ed. Reimpressão. São Paulo: Studio Nobel, 2012.

GUSSON, C. S. **Efeito da densidade construída sobre o microclima urbano**: construção de diferentes cenários possíveis e seus efeitos no microclima para a cidade de São Paulo, SP. 2014. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

GUSSON, C. S.; DUARTE, D. H. S. Effects of Built Density and Urban Morphology on Urban Microclimate – Calibration of the Model ENVI-met V4 for the Subtropical São Paulo, Brazil. **Procedia Engineering**, v. 169, p. 2-10, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.10.001>.

HUTTNER, S. **Further development and application of the 3D micro climate simulation ENVI-met**. 2012. Thesis (Doctor of Science). Faculty of Chemistry, Pharmacy and Geosciences, Johannes-Gutenberg-University of Mainz, Mainz, 2012.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Banco de dados meteorológicos**. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Acesso em: 12 jun. 2019.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **População no último censo [2022]**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/presidente-prudente/panorama>. Acesso em: 24 Jul. 2023.

KRAYENHOFF, E. S.; BROADBENT, A. M.; ZHAO, L.; GEORGESCU, M.; MIDDEL, A.; VOOGT, J. A.; MARTILLI, A.; SAILOR, D. J.; ERELL, E. Cooling hot cities: a systematic and critical review of the numerical modelling literature. **Environmental Research Letters**, v. 16, p. 1-29, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abdcd1>.

LAHME, E.; BRUSE, M. Microclimatic effects of a small urban park in densely built-up areas: measurements and model simulations. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATE, 5., 2003, Lodz. **Proceedings [...]**. Lodz: ICUC5, 2003. Disponível em: <http://www.envi-met.net/documents/papers/park2003.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2017.

MIDDEL, A.; HÄB, K.; BRAZEL, A. J.; MARTIN, C.; GUHATHAKURTA, S. Impact of urban form and design on microclimate in Phoenix, AZ. **Landscape and Urban Planning**, v. 122, p. 16-28, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.11.004>.

MORISHITA, C.; SORGATO, M. J.; VERSAGE, R.; TRIANA, M. A.; MARINOSKI, D. L.; LAMBERTS, R. **Catálogo de propriedades térmicas de paredes e coberturas**. Florianópolis: LabEEE, 2010. Disponível em: [http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/catalogo\\_caixa\\_v4.PDF](http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/catalogo_caixa_v4.PDF). Acesso em: 20 jan. 2019.

NEUFERT, E. **Arte de projetar em arquitetura**. 18. ed. São Paulo: Gustavo Gili, 2013.

OKE, T. R. The distinction between canopy and boundary-layer urban heat islands. **Atmosphere**, v. 14, n. 4, p. 268-277, 1976. DOI: <https://doi.org/10.1080/00046973.1976.9648422>.

OKE, T. R.; MILLS, G.; CHRISTEN, A.; VOOGT, J. A. **Urban Climates**. Cambridge: Cambridge University Press, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1017/9781139016476>.

PRESIDENTE PRUDENTE. **Lei complementar nº 234, de 27 de dezembro de 2018**. Dispõe sobre a Lei de Normas para Edificações do Município, e dá outras providências. Presidente Prudente: Câmara Municipal, 2018. Disponível em: [http://www.presidenteprudente.sp.gov.br/site/leis\\_decretos\\_detalhe.zxhtml?t=3&a=2018&n=234&c=](http://www.presidenteprudente.sp.gov.br/site/leis_decretos_detalhe.zxhtml?t=3&a=2018&n=234&c=). Acesso em: 21 jan. 2019.

ROTH, M. Review of urban climate research in (sub)tropical regions. **International Journal of Climatology**, v. 27, n. 14, p. 1859-1873, 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/joc.1591>.

SILVA, M. P. **Simulação termoeenergética e análise econômica do uso de telhados de alta refletância solar em uma residência unifamiliar**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

SILVA, M. C.; OLIVEIRA, T. A.; VIANA, Y. C. G.; FERREIRA, C. C. M. Campos térmicos urbanos: estudo de caso na zona sul da cidade de Juiz de Fora-MG, a partir de um modelo geoespacial. **Revista de Geografia**, v. 8, n. 2, p. 65-88, 2018. DOI: <https://doi.org/10.34019/2236-837X.2018.v8.26000>.

SOUCH, C.; GRIMMOND C. S. B. Applied climatology: urban climate. **Progress in Physical Geography**, v. 30, n. 2, p. 270-279, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1191/0309133306pp484pr>.

STEWART, I. D.; MILLS, G. **The urban Heat Island — A guidebook**. Elsevier Inc.: Amsterdam, NL, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/C2017-0-02872-0>.

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>.

TOPARLAR, Y.; BLOCKENA, B.; MAIHEUB B.; VAN HEIJSTD, G. J. F. A review on the CFD analysis of urban microclimate. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 80, p. 1613-1640, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.248>.

WILLMOTT, C. J. On the validation of models. **Physical Geography**, v. 2, n. 2, p. 184-194, 1981. DOI: <https://doi.org/10.1080/02723646.1981.10642213>.

WILLMOTT, C. J. Some comments on the evaluation of model performance. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 63, n. 11, p. 1309-1313, 1982. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1982\)063<1309:SCOTEO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1982)063<1309:SCOTEO>2.0.CO;2).

## **A INFLUÊNCIA DAS FORMAS DE RELEVO E DO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA NA FORMAÇÃO DE ILHAS DE CALOR NA CIDADE DE PRESIDENTE PRUDENTE, SP, BRASIL**

*João Osvaldo Rodrigues Nunes  
Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim  
Danielle Cardozo Frasca Teixeira  
Glauber Verner Firmino*

### **INTRODUÇÃO**

Os conhecimentos científicos advindos da Geografia têm contribuído técnica e metodologicamente para uma melhor compreensão das dinâmicas e inter-relações entre os processos naturais e sociais que atuam sobre o relevo, seja em áreas urbanas como rurais. Estes aspectos têm auxiliado na elaboração de propostas de planejamento ambiental, com ênfase nos estudos do clima urbano e sua relação com as diferentes formas de mapeamento e do uso e ocupação do relevo.

Com referência ao mapeamento das formas de relevo, Nunes e Fushimi (2010) elaboraram um documento na escala 1:25.000, que abrange, de modo geral, as principais características geomorfológicas presentes no município e perímetro urbano da cidade de Presidente Prudente (SP).

A elaboração deste tipo de documento, em escala detalhada, veio a complementar uma série de estudos acadêmicos interdisciplinares em que a morfologia do relevo apresenta-se como importante aspecto a ser considerado no processo de expansão urbana, bem como na compreensão da dinâmica de formação das ilhas de calor superficiais (ICU<sub>Ssuperf</sub>) na cidade de Presidente Prudente.

Neste aspecto, o relevo da área urbana de Presidente Prudente é marcado naturalmente por colinas amplas de topos suavemente ondulados. Conforme Sposito (1983), a expansão urbana da cidade de Presidente Prudente deveu-se a vários fatores, tais como:

- a) nas décadas de 1960 e 1980 a cidade sofreu um crescimento populacional, cujos motivos foram: a (re)organização na economia agrícola, o êxodo rural, e, pôr fim, a estagnação econômica das cidades menores, drenando os recursos econômicos para as cidades médias;

- b) a realização de diversos acontecimentos intra-urbanos que favoreceram o crescimento da cidade para a direção oeste;
- c) a morfologia do relevo do município - a zona leste é marcada por declividades mais acentuadas contrapondo-se à zona oeste, que possui uma topografia mais suave; e
- d) o procedimento de loteamento realizado pelo Coronel Goulart, que facilitou o pagamento dos lotes e imóveis rurais, tudo para que a cidade crescesse.

Em relação à morfologia do relevo, este foi um fator relevante para que a expansão territorial pouco se realizasse na porção leste. Segundo Sposito (1983) a zona leste era marcada por desnivelamentos bastante fortes, tornando a área pouco propícia à expansão da cidade, passado um primeiro dinamismo no qual todo patamar comprimido entre a ferrovia e os fortes declives foram ocupados.

A cidade nas décadas de 1940 e 1950 teve um crescimento territorial com o surgimento de novos loteamentos. Na zona leste surgiram Vila Furquim, Marina, Verinha e Brasil, embora à oeste este crescimento tenha sido bem maior. Na década de 1960, exatamente em 1962 a zona leste recebeu novos loteamentos, como Vila Ramos de Freitas, Paulo Roberto e Rainho, Jardim Itatiaia e Santa Marta e parques Alvorada e Furquim.

Já na direção sul e leste, a cidade cresceu rompendo barreiras que Sposito (1983) caracteriza como sendo geográficas e psicológicas. O eixo de expansão territorial ao sul, ultrapassa a rodovia SP 270 (Raposos Tavares), caracterizada por dificultar a circulação para ambos os lados. Já as psicológicas, principalmente para o setor leste, seriam expressões da própria população impondo certo preconceito para os moradores de que essas áreas não são adequadas para fins habitacionais.

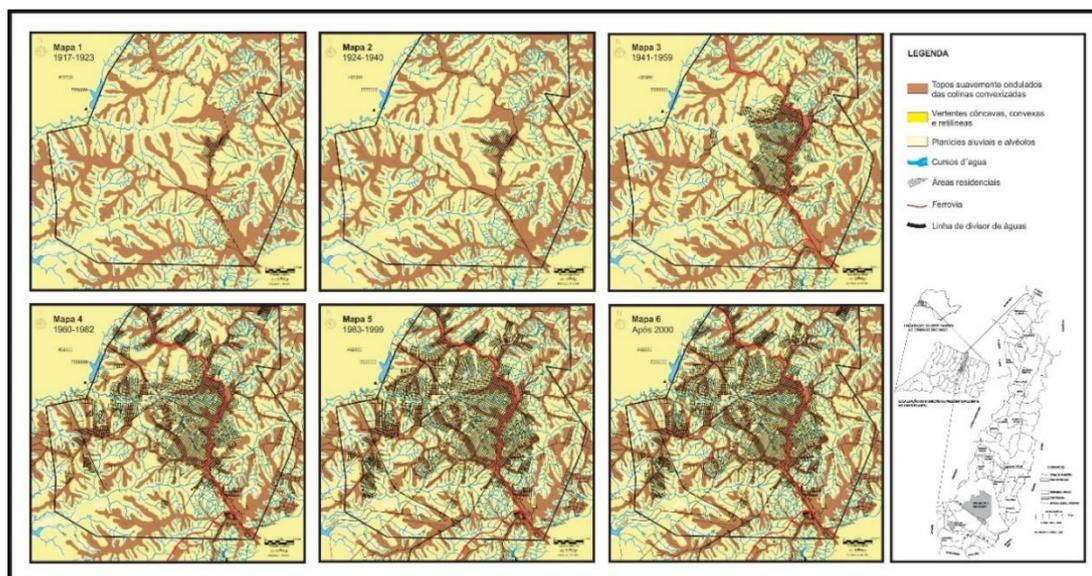
Em 1976, a zona oeste cresceu com a instalação de núcleos habitacionais (Cohab, Cecap etc.), juntamente com loteamentos de iniciativa particular. A população que se instalou nesses locais era de baixa renda. Esses núcleos habitacionais foram implantados próximos aos loteamentos denominados de Jardim Monte Alto e Jardim Sabará, localizados no prolongamento da Avenida Manoel Goulart (bem afastados do centro da cidade). O crescimento da malha urbana na direção oeste foi orientado pela presença de alguns estabelecimentos industriais (Sposito, 1983) localizados além do prolongamento da Avenida Manoel Goulart.

No setor sudoeste, a expansão urbana ficou delimitado ao córrego do veado. Nessa porção da cidade a ocupação se deu por meio de loteamentos como Jd. das Rosas (1962), parcialmente ocupado, e pelo loteamento Jd. Marupiara.

Na zona norte surgiram loteamentos que se caracterizaram por ser descontínuos da malha urbana deixando grandes espaços sem infraestrutura de sistema de arruamentos e macrodrenagem e microdrenagem. A partir de 1972 surgem novos loteamentos como: Jd. São Francisco, Vale das Parreiras, Parques Watal Ishibashi, Castelo Branco, Primavera e Alexandria, todos descontínuos à malha urbana.

Portanto, o processo de apropriação/ocupação da paisagem do município de Presidente Prudente iniciou-se com o desbravamento do Pontal do Paranapanema, com a destruição da mata nativa, com a ocupação dos compartimentos geomorfológicos - os topos, as vertentes e os fundos de vales (Figura 1).

**Figura 1** - Expansão da malha urbana de Presidente Prudente-SP (1917-2020).



Fonte: Pedro Miyazaki, 2014.

De modo geral, tomando a linha da ferrovia como demarcador geral, as áreas com colinas de topos amplos e plainos predominam no setor oeste. Já as morfologias mais declivosas situam-se no setor leste.

## **GEOMORFOLOGIA DO MUNICÍPIO DE PRESIDENTE PRUDENTE**

No município de Presidente Prudente, conforme IPT (1981b: 71) as formas de relevo dominantes são os “Morrotes Alongados e Espigões” e as “Colinas Médias”. No caso dos “Morrotes Alongados e Espigões”, relevo no qual situa-se o núcleo urbano da cidade de Presidente Prudente, predominam declividades médias a altas, acima de 15%, com amplitudes locais inferiores a 100 metros. De modo geral, ocorrem interflúvios sem orientação preferencial,

com topos angulosos e achatados e vertentes ravinadas com perfis retilíneos. A drenagem é de média a alta densidade, com padrão dendrítico e vales fechados.

Estruturalmente, estes são os relevos mais acidentados, estando associados à “Formação Adamantina”, que compreende geralmente arenitos com cimentação carbonática (IPT, 1981). Nas “Colinas Médias”, predominam as baixas declividades até 15% e amplitudes locais inferiores a 100 metros. Os interflúvios compreendem áreas em torno de 1 a 4 km<sup>2</sup>, cujos topos são aplainados. As vertentes têm um perfil convexo a retilíneo, com uma drenagem de média a baixa densidade de padrão sub-retangular. Os vales são abertos a fechados, tendo planícies aluviais interiores restritas, com a presença eventual de lagoas perenes ou intermitentes.

Sudo (1980), ao abordar os aspectos da compartimentação geomorfológica observada na região da Bacia Hidrográfica do Alto Rio Santo Anastácio, delimitou três unidades principais de relevo: superfície de cimeira regional (acima de 500 metros); interflúvios escalonados (de 480 metros até 380 metros); terraços e planícies de inundação.

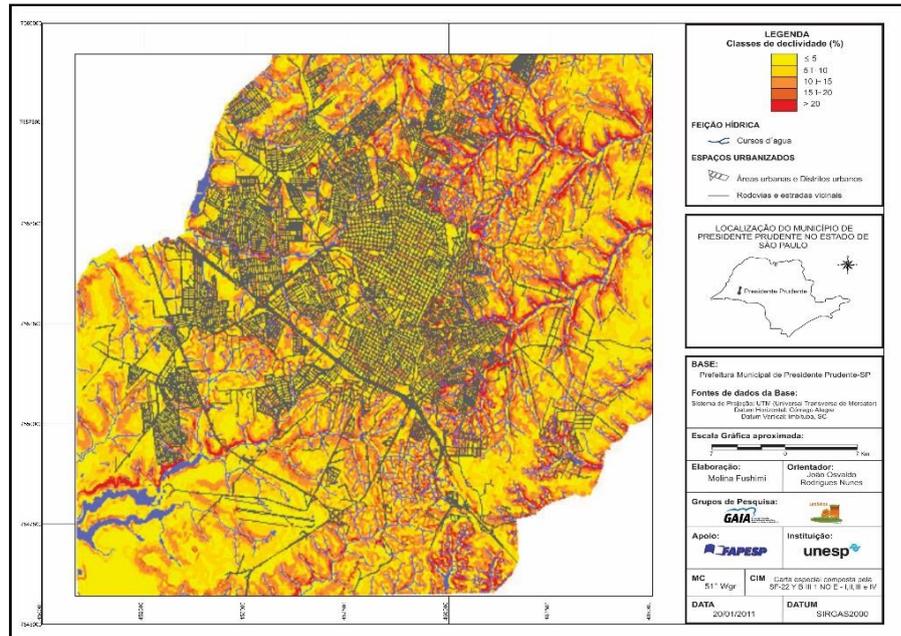
O primeiro grande compartimento de relevo compreende o domínio dos chapadões rebaixados pela erosão neogênica do extremo oeste paulista. De modo geral, os chapadões ou espigões suavemente convexos, cujos topos em boa parte são oriundos de formas residuais, são sustentados por camadas areníticas ainda coerentes.

Conforme Sudo (1980, p. 71), o conjunto que compreende este domínio geomorfológico forma um “[...] espigão maior que se comporta como divisor principal das águas da bacia do Santo Anastácio, pelo lado oeste, das águas da bacia do Ribeirão do Mandaguari, pelo lado norte-nordeste, e das da bacia do Ribeirão da Laranja-Doce, a leste-sudeste”. A cidade de Presidente Prudente, que está situada neste espigão maior, “[...] corresponde a um ramo digitado da superfície cimeira regional cuja extensão mais expressiva encontra-se na região de Martinópolis” (Sudo, 1980, p. 72).

O compartimento dos interflúvios colinosos escalonados altimetricamente está localizado nas bordas da superfície de cimeira (480 m) até os níveis de terraço (380 m). É o domínio do relevo de colinas côncavo-convexas de topos suavemente ondulados, geralmente com colúvios de pouca espessura, resultantes de processos morfoclimáticos oriundos de clima seco a úmido. O compartimento dos terraços e planícies de inundação se apresenta de modo descontínuo ao longo do Rio Santo Anastácio.



**Figura 3** - Mapa de declividades da área urbana e adjacência de Presidente Prudente, SP.



Fonte: Fushimi, 2012.

**Figura 4** - Vista do centro da cidade de Presidente Prudente, situada no divisor d'água entre as Bacias Hidrográficas dos rios Santo Anastácio (zona oeste-esquerda) e do Peixe (zona leste-direita).



Fonte: <https://g1.globo.com/sp/presidente-prudente-regiao/noticia/2022/09/14/presidente-prudente-completa-105-anos-de-fundacao-com-carencia-de-dados-para-embasar-perspectivas-de-desenvolvimento.ghtml>. Acesso em 28 set. 2023.

A morfologia formada pela sequência de relevos de colinas côncavo-convexas possui de médios a amplos interflúvios que se interligam com outras colinas através de solos rasos e pouco alongados, formando pequenos espigões desgastados pela pediplanação neogênica

(Ab'Saber, 1969), cujas altitudes médias vão de 486 metros (setor sudeste e central) a 380 metros (setor sudoeste) próximo à represa da SABESP.

O compartimento dos topos, por serem planos a suavemente ondulados, historicamente tem sido o principal compartimento de relevo a ser ocupado. Esse fato fica claro, quando se observa que o primeiro setor da cidade a ser ocupado foi o espigão divisor d'águas entre a bacia do Rio Santo Anastácio e do Rio do Peixe. A ocupação urbana anteriormente restrita ao topo suavizado do espigão expandiu-se para as áreas das vertentes e dos fundos de vales, que levou por parte das sucessivas administrações públicas, a necessidade de canalização de alguns córregos (Figura 5).

**Figura 5 - Canalização do Córrego do Veado no Parque do Povo, cidade de Presidente Prudente-SP.**

Figura 5 A - Construção do Parque do Povo e canalização do Córrego do Veado na Gestão do Prefeito Paulo Constantino (1977-1980).



Figura 5 B - Parque do Povo com o Córrego do Veado canalizado.



Fonte: <https://www.imparcial.com.br/noticias/prudente-dos-anos-70-aos-dias-de-hoje,38006>.

As áreas de declividade acentuada entre 10 e 20%, que, na sua maioria, localizam-se no setor leste, apresentam morfologia em forma de cabeceiras de drenagem em anfiteatros, onde afloram os arenitos da Formação Adamantina. Muitas destas morfologias foram ocupadas pela expansão da malha urbana como pode ser vista na Figura 6.

**Figura 6** - Cabeceiras de drenagem em relevos com morfologia de anfiteatro urbanizadas localizadas na zona leste da cidade de Presidente Prudente-SP.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

## O SÍTIO URBANO E O CLIMA

O relevo é um dos controles climáticos mais eficientes para a caracterização do clima. (Mendonça e Danni-Oliveira, 2007). Isso se mostra desde a escala regional até escalas mais finas quando se alcança a topoclimatologia.

Segundo Monteiro (2015), tanto em Climatologia quanto em Geomorfologia, as unidades especiais de análise estão sujeitas a muitas variações e isso se deve à noção de escala adaptada pela concepção geossistêmica. Não à toa, as unidades espaciais do clima estão ligadas às unidades geomorfológicas visto que, através da ecologia, “o clima se posiciona no espaço concreto, tridimensional da superfície terrestre através daquilo que lhe constitui o arcabouço – as formas do relevo” (Monteiro, 2015, p. 101).

Na Climatologia Urbana, a noção de escala taxonômica com base nas ordens de grandeza de Tricart e Cailleux (1956 *apud* Monteiro, 2015) se concebe a partir de seu caráter relacional. Dessa contribuição, Monteiro (2015) derivou o mesoclima e o microclima. No primeiro caso, mesoclima é entendido por um conjunto de topoclimas, que são identificados nos compartimentos morfológicos básicos, tais como a várzea, o espigão divisor, e as colinas, entre tantas formas que são individualizadas conforme a geografia do sítio urbano. Nesse aspecto, Monteiro (2015, p. 102) comenta o exemplo do município de São Paulo, em que:

O espigão central não só apresenta variações ao longo do seu desenvolvimento, como sensíveis variações transversais. É evidente que ao incluirmos a estrutura urbana, o que é forçoso, a própria massa de edificações (dentre outras coisas) e suas variações de volume, associadas a traços topográficos, podem ajudar a dar-lhes maior expressão topográfica. Em uma topografia plana como a da várzea, as diferenças de volume de edificações, aliadas a outras formas de uso do solo assumem o papel de criador das variedades topográficas [...]

Como microclima, aparecem as menores unidades de observação no urbano, enquadrado nos limites espaciais delimitado à ordem das dezenas de metros. Nessa escala, de forte percepção sensorial, verifica-se que a edificação influencia no terreno.

Nesse sentido, “[...] a topografia pode possibilitar o surgimento de variações ambientais substanciais em escalas espaciais ao nível do detalhe, por ser moldada pela declividade da vertente, posição da colina e as elevações do entorno, que podem sombrear” (Fialho, 2021, p. 2).

## **ESTUDO DE CASO: A DISTRIBUIÇÃO DAS TEMPERATURAS SUPERFICIAIS DE PRESIDENTE PRUDENTE**

No presente estudo de caso foram utilizadas imagens do canal termal diurnas e noturnas em dois ciclos sazonais distintos, quais sejam o outono e o inverno, de modo a se verificar a distribuição das temperaturas superficiais na malha urbana e no entorno imediato de Presidente Prudente. Das imagens diurnas foram elaboradas cartas de vegetação considerando o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), a partir das bandas 4 e 5 do Landsat 8.

O NDVI estima a exuberância da vegetação, sendo que quanto maior o índice (positivo), mais ativa é a vegetação, enquanto valores menores (negativos) demonstram menor densidade ou atividade da cobertura vegetal (Novo, 2010).

O cálculo do NDVI foi realizado a partir da seguinte expressão:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

Onde:

NIR = Luz refletida na faixa do infravermelho próximo.

RED = Luz refletida na faixa do vermelho.

No ambiente tropical, a distribuição da precipitação é condição essencial para sustentar as análises da distribuição das temperaturas conforme os alvos (Amorim, 2020); por isso é relevante considerar o NDVI e o período de coleta das imagens. A comparação entre as imagens tomadas em período do dia e da noite é outra questão importante, pois existe uma defasagem

na absorção da radiação no período diurno, o que faz com que a detecção das maiores temperaturas dos alvos seja percebida mais efetivamente no período noturno, devido à capacidade térmica dos materiais urbanos que são estanques e acumulam a energia recebida durante o período de exposição solar e passam a liberá-la no decorrer da noite (Teixeira; Amorim, 2022).

Para a efetivação do mapeamento, imagens do satélite Landsat 8 obtidas gratuitamente no sítio eletrônico do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) (Quadro 1) foram tratadas de forma a se converter os níveis de cinza em temperatura radiante da superfície, utilizando-se os parâmetros fixos e algoritmos disponibilizados pelo arquivo de metadados que acompanham as imagens, conforme Sharma (2019) e Guillevic *et al.* (2018).

**Quadro 1** - Informações das imagens do Satélite Landsat 8 utilizadas.

<b>Imagem termal do sensor TIRS Landsat 8</b>	<b>Diurna 10h22min (hora local)</b>	<b>Noturna 22h51min (hora local)</b>
Data Outono	13/05/2023	19/05/2023
Data Inverno	01/08/2023	07/08/2023
Ponto e órbita	222/075	104/169

A primeira fase do tratamento refere-se à conversão dos números digitais dos níveis de cinza para a radiância espectral no sensor através da fórmula:

$$L\lambda = ML * Q_{cal} + AL \quad (2)$$

Onde,

$L\lambda$  = Radiância espectral do sensor no topo da atmosfera (Watts/(m<sup>2</sup> \* srad \* μm));

ML = Fator multiplicativo de redimensionamento da banda 10;

Q<sub>cal</sub> = Valores de pixel do produto padrão quantizados e calibrados (DN);

AL = Fator de redimensionamento aditivo específico da banda 10.

Na sequência, foi realizado o procedimento de conversão da radiância espectral para a temperatura de brilho da superfície usando a expressão:

$$BT = \frac{K2}{Ln\left(\frac{K1}{L\lambda}\right) + 1 - 273.15} \quad (3)$$

Em que:

BT = temperatura de brilho no sensor (°C);

K2 = constante 2 de calibração, no valor de 1321.0789;

K1 = constante 1 de calibração, no valor de 774.8853;

$L\lambda$  = radiância espectral no sensor (Watts/(m<sup>2</sup> \* srad \* μm));

Ln = logaritmo natural.

Conhecidas as temperaturas superficiais, considerou-se as diferenças térmicas assumidas entre a área urbana e o rural (Fernández García, 1996), visando uma análise qualitativa da relação estabelecida entre a distribuição ICU<sub>superf</sub> (Ilha de calor urbana superficial) e a disposição do relevo.

Para o cálculo das intensidades, utilizou-se da expressão:

$$\Delta T^{\circ} \text{superf} = T^{\circ} \text{C Urbana} - T^{\circ} \text{C rural} \quad (4)$$

Onde,

$\Delta T$  = Intensidade da ICU<sub>superf</sub>.

T<sup>°</sup>C Urbana = Temperatura registrada na área urbana.

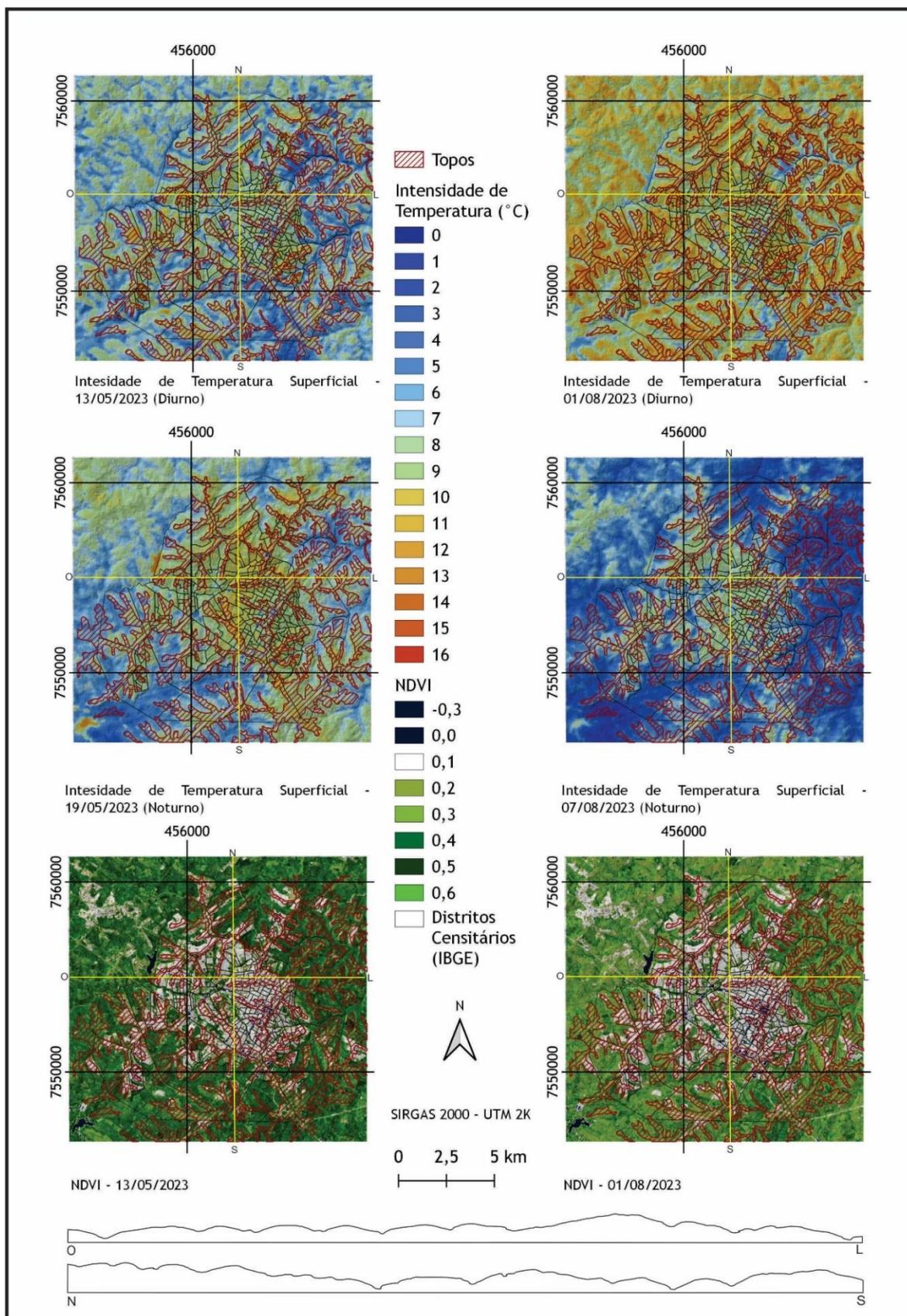
T<sup>°</sup>C rural = Temperatura registrada na área rural.

## ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados mostram que os topos das colinas e os fundos de vale são importantes marcadores das rupturas térmicas presentes na malha urbana de Presidente Prudente. Estudos antecedentes comprovaram a influência do relevo na formação do clima urbano dessa localidade, tanto no que se refere às temperaturas atmosféricas como também às temperaturas superficiais (Amorim, 2020). Nessa mesma região climática, Teixeira (2019), utilizando-se de modelagem multicriterial, atribuiu o peso da influência da hipsometria na resposta térmica para a área urbana da cidade de Presidente Venceslau (SP), especialmente na condição de sistemas estáveis.

Para Presidente Prudente, de modo geral, nos fundos de vale localizam-se as menores intensidades de temperatura (Figura 7), enquanto nos topos das colinas e divisores de água são as áreas mais favorecidas ao aquecimento das superfícies. O mesmo ocorre em relação às vertentes com maior exposição, especialmente aquelas que se voltam aos quadrantes norte e noroeste, o que é relevante na latitude em que se encontra a área de estudo. As vertentes norte e noroeste recebem maior incidência solar do que a vertente voltada ao sul, já que no Hemisfério Sul, “[...] o Sol estará sempre no horizonte norte, deixando à sombra as vertentes voltadas para o horizonte sul” (Mendonça; Danni-Oliveira, 2007, p. 47). Isso favorece a configuração dos alvos menos aquecidos e, por consequência, são as áreas com menores temperaturas do ar e que estão sujeitas ao efeito de inversão térmica de fundo de vale, notadamente sob regência da Massa Polar Atlântica (Teixeira; Amorim, 2022).

**Figura 7** - Temperaturas superficiais diurnas e noturnas da área urbana e rural da cidade de Presidente Prudente-SP, tomadas em maio e agosto de 2023 e NDVI para os mesmos períodos.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Mesmo que o sítio urbano de Presidente Prudente seja caracterizado por uma rugosidade marcada por baixas declividades nos topos (0 a 10%), onde ocorre a maior concentração da malha urbana, nas áreas de vertentes com predomínio de declividades entre 15 e 20%, conforme a relação entre a distribuição de radiação e a superfície, ocorrem as maiores temperaturas superficiais. Já nos fundos de vale, devido às baixas declividade (0 a 10%) e à presença de cobertura vegetal, as temperaturas são baixas.

No aspecto da espacialização das temperaturas superficiais, o relevo se mostra relevante, assim como as características de cobertura da superfície. Adentrando aos episódios destacados, faz-se necessário analisar o acumulado de precipitação nos dias antecedentes à tomada das imagens (Tabela 1).

**Tabela 1** - Total de precipitação antes da captura das imagens pelo sensor.

Dias de precipitação antes da tomada da imagem	13/05/2023	19/05/2023	01/08/2023	07/08/2023
	Diurna	Noturna	Diurna	Noturna
30 dias antes	115,8 mm	190 mm	1,4 mm	3,2 mm
10 dias antes	12 mm	154 mm	0,2 mm	2,0 mm
5 dias antes	12,8 mm	0 mm	0,2 mm	0 mm

Fonte dos dados: INMET, estação automática A 707.

O mês de maio registrou precipitação acima da média histórica que é de 83 mm, apresentando, no ano de 2023, o acumulado de 115,8 mm. Ao se comparar a imagem diurna, capturada em 13 de maio e a imagem noturna, de 19 de maio, verifica-se clara distinção entre os alvos urbanos e rurais. As diferenças entre os alvos urbanos e rurais decorrem da disponibilidade hídrica no sistema, propiciando a atividade da vegetação no entorno rural. Outro diferencial importante é que, na imagem noturna, o Balneário da Amizade, localizado no setor oeste da malha urbana, na divisa com o município de Álvares Machado, apresenta as maiores intensidades de temperatura, diferentemente do que é verificado na imagem diurna. Essa característica se deve à capacidade térmica das superfícies hídricas, localizadas no fundo de vales, que demoram para aquecer e conservam o calor por mais tempo, estendendo-se para o período noturno.

Na situação do inverno, ocorre o período de escassez de precipitação no ambiente tropical. Nos dias antecedentes à tomada das imagens representativas do inverno, o maior volume de precipitação alcançou até 3,2 mm, valor pouco expressivo para a vegetação do entorno. Percebe-se que o inverno é o período em que as maiores intensidades superficiais são

verificadas e que estas não se restringem ao ambiente urbano. Nesse período, o déficit hídrico compromete a presença de umidade dos solos, reduzindo a atividade da fotossíntese da vegetação rasteira (Jensen, 2009). A vegetação fica comprometida e, por vezes, o solo permanece desprovido de cobertura vegetal, quando as suas temperaturas se assemelham às verificadas nas áreas urbanas.

À exceção desse resultado, a vegetação arbórea, que se localiza especialmente nos fundos de vale, são os locais que continuam demarcando as menores temperaturas de alvos, mesmo no período seco.

### **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O presente trabalho teve por intuito relacionar os parâmetros geomorfológicos dos compartimentos topográficos (topo e vertentes das colinas e fundos de vales), com as distribuições das temperaturas dos alvos nas áreas urbana e rural próxima da cidade de Presidente Prudente. Na escala detalhada do urbano, verificou-se que as características geomorfológicas pesam na determinação dos padrões térmicos, tanto quanto a cobertura das superfícies. A morfologia do relevo e sua orientação são condicionantes da distribuição das temperaturas superficiais no aspecto do favorecimento à exposição solar ou ao sombreamento.

Os mapas das intensidades das temperaturas superficiais mostram que, além da cobertura da terra e do uso da terra, as diferentes formas do relevo são capazes de contribuir para a variação das temperaturas superficiais. Verificou-se a intensificação das ilhas de calor, especialmente nas áreas de topos de colinas e divisores d'água, e nas vertentes com orientação para o norte e noroeste, que recebem maior incidência solar. Nos fundos de vale, setores com maior concentração de drenagens, foram registradas temperaturas menores, se assemelhando às temperaturas do ambiente rural, resultando em ilhas de calor de fraca magnitude.

### **AGRADECIMENTOS**

Ao programa CAPES/COFECUB - processo: 88881.191765/2018-01; Sh 941/19 – projeto: CiCIAMEn (Cidades, Clima e Vegetação: Modelagem e Políticas Públicas Ambientais), pelo apoio financeiro.

### **REFERÊNCIAS**

AB'SABER, A. N. Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o quaternário. **Geomorfologia**, São Paulo, nº 18, p. 1-23, 1969.

AB'SABER, A. N. Os baixos chapadões do Oeste Paulista. **Geomorfologia**, São Paulo, n. 17, p. 1-8, 1969.

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

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

FIALHO, E. S. Topoclimatologia: estudo de caso do Transect Ponte Nova-Ubá na zona da mata mineira. **Humboldt - Revista de Geografia Física e Meio Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 2, p. 1-34, 2021.

FUSHIMI, M. **Vulnerabilidade ambiental aos processos erosivos lineares nas áreas rurais do município de Presidente Prudente-SP**. 2012. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2012.

GUILLEVIC, P.; GÖTTSCHE, F.; NICKESON, J.; HULLEY, G.; GHENT, D.; YU, Y.; ISABEL, T.; SIMON, H.; SOBRINO, J. A.; REMEDIOS, J.; MIGUEL, R.; FERNANDO, C. (2017). **Land Surface Temperature; Product Validation Best Practice Protocol**. Committee on Earth Observation Satellites Working Group on Calibration and Validation Land Product Validation Subgroup Version 1.0. Disponível em: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20180006562/downloads/20180006562.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2023.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo: 1:1.000.000**. São Paulo: IPT, vol. II, 1981, p. 6; 7; 21; 70-2 (Publicação IPT 1183).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). **Mapa geológico do Estado de São Paulo: 1:500.000**. São Paulo: IPT, vol. I, 1981, p. 46-8; 69 (Publicação IPT 1184).

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

MENDONÇA, F. A.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. 67. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MONTEIRO, C. A. de F. A climatologia geográfica no Brasil e a proposta de um novo paradigma. In: MONTEIRO, C. A. de F. (org.). **A Construção da climatologia geográfica no Brasil**. Campinas: Alínea, 2015, p. 61-153.

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

NUNES, J. O. R.; FREIRE, R.; PERES, I. U. Mapa geomorfológico do perímetro urbano de Presidente Prudente-SP. In: VI Simpósio Nacional de Geomorfologia e Regional Conference on Geomorphology, 2006, Goiânia. **Anais [...]**. Goiânia: União da Geomorfologia Brasileira; International Association of Geomorphologists, 2006.

NUNES, J. O. R.; FUSHIMI, M. Mapeamento geomorfológico do município de Presidente Prudente-SP. In: VIII Simpósio Nacional de Geomorfologia, III Encontro Latino-Americano de Geomorfologia, I Encontro Ibero-Americano de Geomorfologia e I Encontro Ibero-Americano do Quaternário, 2010, Recife. **Anais [...]**. Recife: UFPE, 2010.

PEDRO MIYAZAKI, L. C. **Dinâmicas de apropriação e ocupação em diferentes formas de relevo: impactos e vulnerabilidades em ambientes urbanos.** 2014. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

SPOSITO, M. E. B. **O chão em Presidente Prudente: a lógica da expansão territorial urbana.** Rio Claro, 1983, (Dissertação de Mestrado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1983.

SUDO, H. **Bacia do alto Santo Anastácio – estudo geomorfológico.** 1980. Tese (Doutorado em Geografia Física com ênfase em Geomorfologia) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1980.

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, n. 56, 2022. <https://doi.org/10.3390/cli10040056>.

TEIXEIRA, D. C. F. **O clima urbano das cidades do Oeste Paulista: análise do perfil térmico de Presidente Venceslau, Santo Anastácio e Álvares Machado, Brasil.** Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, 2019.

TRICART, J. & CAILLEUX, A. **Lê problème de la classification des faits géomorphologiques.** *Annales de Géographie*, n. 349, LXV année, p. 162-186, 1956.

## ANÁLISE DO NDVI E DA TEMPERATURA SUPERFICIAL EM TRÊS LAGOAS (MS), NO PERÍODO DE 2013 A 2023

Gislene Figueiredo Ortiz Porangaba

### INTRODUÇÃO

A dinâmica de crescimento das cidades faz com que o meio natural seja totalmente transformado, gerando um ambiente artificial que altera as propriedades físicas naturais (Fernández García, 1996), sobretudo a camada atmosférica próxima à superfície urbana.

Tais alterações atmosféricas produzem um novo clima local, conhecido como clima urbano (Monteiro, 1976). As características do clima urbano incluem o aumento da temperatura do ar, a diminuição da umidade do ar, a concentração das precipitações, a alteração da velocidade e da direção dos ventos, e o aumento da poluição do ar.

Arelada ao aumento da temperatura do ar na área urbana em relação ao ambiente rural do entorno, as ilhas de calor urbanas são o fenômeno mais documentado pela comunidade científica em estudos do clima urbano (Oke *et al.*, 2017). De acordo com Oke *et al.* (2017) existem quatro tipos de ICUs, sendo elas: a ilha de calor atmosférica (*Canopy layer urban heat island*), a ilha de calor vertical (*Boundary layer urban heat island*), a ilha de calor de superfície (*Surface urban heat island*) e a ilha de calor de subsuperfície (*Subsurface urban heat island*). Este trabalho enfocará a ilha de calor de superfície.

A temperatura de superfície modula a temperatura do ar nas camadas inferiores da atmosfera (Voogt; Oke, 2003), sendo fundamental o entendimento da configuração da temperatura superficial em diferentes cidades.

As ilhas de calor de superfície se referem à temperatura dos alvos urbanos (residências, ruas, copas de árvores, etc.), sendo analisadas a partir de sensoriamento remoto (aviões, satélites e veículos aéreos não tripulados - VANTs). De acordo com Gartland (2010, p. 40) “o sensoriamento remoto pode ser usado para medir temperaturas e outras características de superfícies, como, por exemplo, coberturas, pavimentos, vegetação e solo nu, por meio da medição de energia refletida e emitida a partir deles”.

A comunidade científica vem desenvolvendo técnicas para a análise e o diagnóstico das ilhas de calor de superfície. As análises que envolvem as ilhas de calor de superfície ocorrem a partir da utilização de imagens tratadas provenientes dos sensores remotos no infravermelho termal, técnica empregada em pesquisas de clima urbano (Almutairi, 2015; Amorim *et al.*, 2009; Frasca Teixeira, Amorim, 2013; Leiva, 2014; López Gómez *et al.*, 1998; Voogt; Oke, 2003). As imagens obtidas por sensoriamento remoto são transformadas em representações cartográficas que permitem aos pesquisadores a identificação e análise das características térmicas dos alvos.

Dentre os produtos cartográficos gerados para o estudo do clima urbano, o índice de vegetação por diferença normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* -NDVI) é uma importante ferramenta para o diagnóstico e análise da cobertura vegetal urbana, pois, como é sabido, essa consegue amenizar os efeitos do clima urbano devido a sua capacidade de redução da temperatura do ambiente e melhoria do conforto térmico.

Conforme Jensen (2009) existem mais de cinquenta índices de vegetação disponíveis para o diagnóstico florestal, agrícola ou urbano. Ainda, segundo o mesmo autor, os índices de vegetação “[...] são medidas radiométricas adimensionais, as quais indicam abundância relativa e a atividade da vegetação verde, incluindo o índice foliar, porcentagem de cobertura verde, e radiação fotossinteticamente ativa absorvida” (Jensen, 2009, p. 384). Nesse sentido, considerando o NDVI, afirma-se que os valores próximos a 1 indicam alto NDVI, enquanto os valores próximos a -1 denotam baixo NDVI.

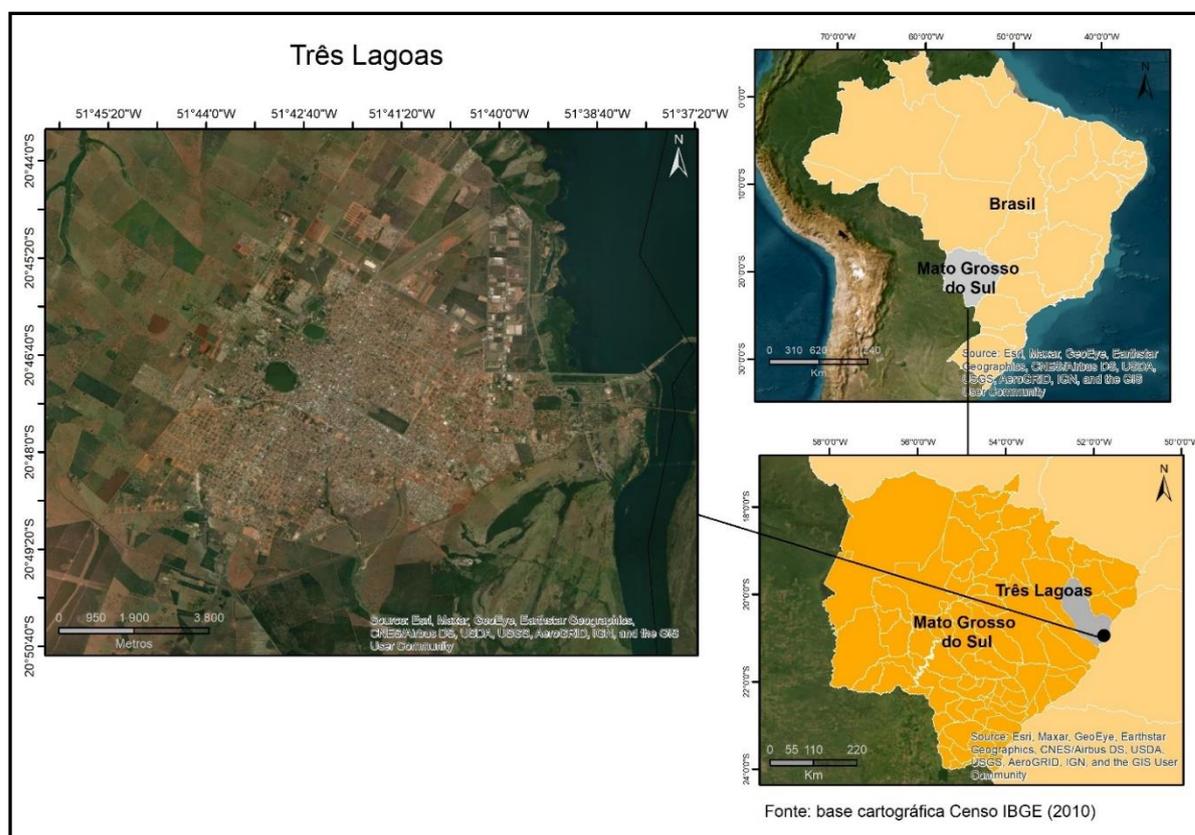
Nessa perspectiva, o presente trabalho teve como objetivo central a análise da temperatura da superfície urbana e do NDVI de Três Lagoas-MS, a fim de identificar como o rápido crescimento da malha urbana entre os anos de 2013 e 2023 interferiu nas características térmicas da área de estudo. A cidade de Três Lagoas localiza-se no leste do estado do Mato Grosso do Sul, entre os quadrantes 19° 30' e 21° 06' de latitude sul a 51° 30' e 52° 30' longitude oeste (Figura 1). A população municipal é de 132.152 hab., a densidade demográfica é de 12,93 hab/km<sup>2</sup>, com 48,96 km<sup>2</sup> de área urbanizada, e o rendimento dos trabalhadores formais é, em média, de três salários mínimos (IBGE, 2022).

Três Lagoas experimentou um crescimento populacional significativo devido à implantação de indústrias de papel e celulose, sobretudo a partir do ano de 2006. A dinâmica populacional da cidade foi demarcada por dois períodos de explosão demográfica. No primeiro momento, a população de Três Lagoas “[...] saltou de 24.482 pessoas em 1960 para 55.543 em

1970, duplicando o contingente populacional com um acréscimo de mais de 30.000 habitantes, em apenas uma década” (Delcol e Milani 2022, p. 95). No segundo momento, a população

[...] passou de 68.126 habitantes em 1991 para 79.059 no ano de 2000, um acréscimo de mais 10 mil pessoas em uma década, e tal aumento é mais intenso nas duas décadas seguintes, ultrapassando o marco de 100 mil habitantes em 2010, com exatamente 101.791 pessoas; atingindo a estimativa de 123.281 para 2020 [...], um acréscimo de mais de 20 mil pessoas em cada década, com uma adição de 55.119 habitantes no período de 29 anos, ou seja, a população de Três Lagoas quase duplica novamente no período analisado (Delcol; Milani, 2022, p. 97).

**Figura 1** - Mapa de localização da cidade de Três Lagoas – MS.



Fonte: Autora, 2023.

Acerca dos aspectos físicos, a cidade estudada se assenta em uma área de relevo plano, com altitude média de 320 metros, possuindo biomas de cerrado e de floresta atlântica. De acordo com a classificação climática (Novais, 2023), seu clima é tropical semisseco. As cidades de ambiente tropical estão naturalmente sujeitas a temperatura elevadas, tendo o limiar de temperatura aumentado pelos efeitos das ilhas calor. A cidade de Três Lagoas tem a formação de ilhas de calor atmosférica e de superfície comprovada por diferentes estudos (Ponso; Ferreira, 2012, Ferreira; Ponso; Sakamoto, 2014; Braz *et al.*, 2018; Ortiz Porangaba *et al.*, 2021). Isso, somado ao clima tropical, faz com que a cidade apresente temperaturas extremas

durante o período mais quente do ano, especialmente, no mês de outubro. Nesse escopo, Três Lagoas é uma área de interesse para as pesquisas da climatologia geográfica e da climatologia urbana, sobretudo no que tange aos diagnósticos ambientais para a mitigação das ilhas de calor.

## A TRAJETÓRIA DA PESQUISA

Para alcançar os resultados obtidos nesta pesquisa, foram elaboradas cartas de composição colorida para análise dos aspectos urbanos, cartas de NDVI para identificação da cobertura vegetal arbórea e rasteira, e cartas de temperatura de superfície para diagnósticos das características térmicas dos alvos.

As imagens utilizadas foram obtidas junto ao site do Serviço Geológico dos Estados Unidos - *United States Geological Survey* (USGS), que disponibiliza as imagens de satélite de forma livre. Foram baixadas imagens do satélite Landsat 8 sensores *Operation Land Image* (OLI) e *Thermal Infrared Sensor* (TIRS), dos dias 09 de junho de 2013 (13h30min) e 21 de junho de 2023 (13h27min), Datum WGS84, sistema de coordenadas em *Universal Transversa de Mercator* (UTM), fuso 22 sul, órbita 223 e ponto 74.

As bandas utilizadas para a composição colorida foram a banda 4 do espectro vermelho (faixa espectral de 0,64 – 0,67  $\mu\text{m}$ ), a banda 5 do espectro do infravermelho próximo (faixa espectral de 0,85 – 0,88  $\mu\text{m}$ ) e a banda 6 do espectro do infravermelho médio (faixa espectral 2,11 – 2,29  $\mu\text{m}$ ), resolução espacial de 30 metros. Para tanto, foi utilizada a ferramenta *composite* disponível no *software* ArcGis (marca registrada da *Environmental Systems Research Institute* - ESRI). Posteriormente foi inserida a malha de setor censitário de Três Lagoas (IBGE, 2010) e também aplicada uma paleta de cores adequadas para a representação cartográfica.

Para a elaboração das cartas de NDVI foram utilizadas imagens do sensor OLI do satélite Landsat 8, sendo as bandas 4 do espectro vermelho (faixa espectral de 0,64 – 0,67  $\mu\text{m}$ ), e 5 do espectro do infravermelho próximo (faixa espectral de 0,85 – 0,88  $\mu\text{m}$ ), resolução espacial de 30 metros, tratadas a partir da equação (Eq. 1):

$$C = \text{Ganho} * ((A - B) / (A + B)) + \text{Offset} \quad (1)$$

Onde:

C = NDVI.

A = é a reflectância no infravermelho próximo.

B = é a reflectância no vermelho.

Ganho = é o fator multiplicativo (utilizou-se 127).

Offset = é o fator aditivo (utilizou-se 128).

A finalização das cartas de NDVI se deu com a inserção da malha de setor censitário de Três Lagoas (IBGE, 2010) e aplicação de uma paleta de cores apropriadas para a representação do índice.

As cartas de temperatura de superfície foram elaboradas a partir do tratamento digital de imagens do satélite Landsat 8, sensor TIRS, banda 10 do espectro infravermelho termal (faixa espectral 10,6 – 11,19  $\mu\text{m}$ ), com resolução espacial de 100 metros e reamostradas para 30 metros. A primeira etapa consistiu na conversão dos níveis de cinza para radiância espectral no topo da atmosfera com a aplicação da seguinte fórmula (Eq. 2):

$$L\lambda = ML * Q_{cal} + AL \quad (2)$$

Onde:

$L\lambda$  = radiância espectral ( $\text{W}/(\text{m}^2 * \text{sr} * \mu\text{m})$ );

ML = fator multiplicativo reescalado da radiância para a banda específica (RADIANCE\_MULT\_BAND\_x), onde x é número da banda. Os valores de ML foram obtidos dos metadados da imagem;

$Q_{cal}$  = Número Digital (ND) do pixel; e

AL = fator aditivo reescalado da radiância para a banda específica (RADIANCE\_ADD\_BAND\_x), onde x é número da banda. Os valores de AL foram obtidos dos metadados da imagem.

A segunda etapa se deu a partir da aplicação<sup>9</sup> da equação (Eq. 3), que realiza a correção atmosférica das imagens processadas a partir da inserção de dados locais de temperatura, umidade, altitude e coordenadas geográficas:

$$CV_{R2} = \frac{CV_{R1} - L\uparrow}{\epsilon\tau} - \frac{1 - \epsilon}{\epsilon} L\downarrow \quad (3)$$

Onde:

$CV_{R2}$  - valor da célula de correção atmosférica como radiância;

$CV_{R1}$  - valor da célula como radiância da seção 1;

$L\uparrow$  - radiância ascendente;

$L\downarrow$  - radiação descendente;

T – Transmitância;

$\epsilon$  - Emissividade (0,95).

A terceira etapa se refere à transformação dos valores digitais para Kelvin, conforme a fórmula a seguir (Eq. 4):

$$T = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L\lambda} + 1\right)} \quad (4)$$

Onde:

<sup>9</sup> Procedimento realizado no site “Atmospheric Correction Parameter Calculator” <http://atmcorr.gsfc.nasa.gov/>, da National Aeronautics and Space Administration (NASA).

T – Temperatura efetiva no satélite em Kelvin (K);  
K2 – Constante de calibração 2 – valor = 1 321,08;  
K1 – Constante de calibração 1 – valor = 774,89;  
L $\lambda$  – Radiância espectral.

A quarta etapa para a elaboração da carta de temperatura de superfície se deu a partir da conversão dos valores de Kelvin para graus Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ), subtraindo-se 273,15. A intensidade da temperatura superficial ( $\Delta$   $^{\circ}\text{C}$ ) foi obtida a partir da diferença entre a maior e a menor temperatura dos mapas gerados. Após isso, foi inserida a malha de setor censitário de Três Lagoas (IBGE, 2010). O layout foi elaborado com cores adequadas para o tipo de representação cartográfica.

Para auxiliar nas análises das cartas obtidas foram baixados dados de precipitação e de temperatura máxima e mínima junto ao site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), que mantém uma estação automática ativa (WMO A704), na cidade estudada. Os dados de precipitação utilizados correspondem ao intervalo de 10, 20 e 30 dias que antecederam a tomada das imagens, pois conforme Amorim (2020), a intensidade das ilhas de calor superficiais está diretamente relacionada com a precipitação que antecede a data de imageamento.

### **ANÁLISE DA SUPERFÍCIE URBANA DE TRÊS LAGOAS (MS) EM 2013 E 2023**

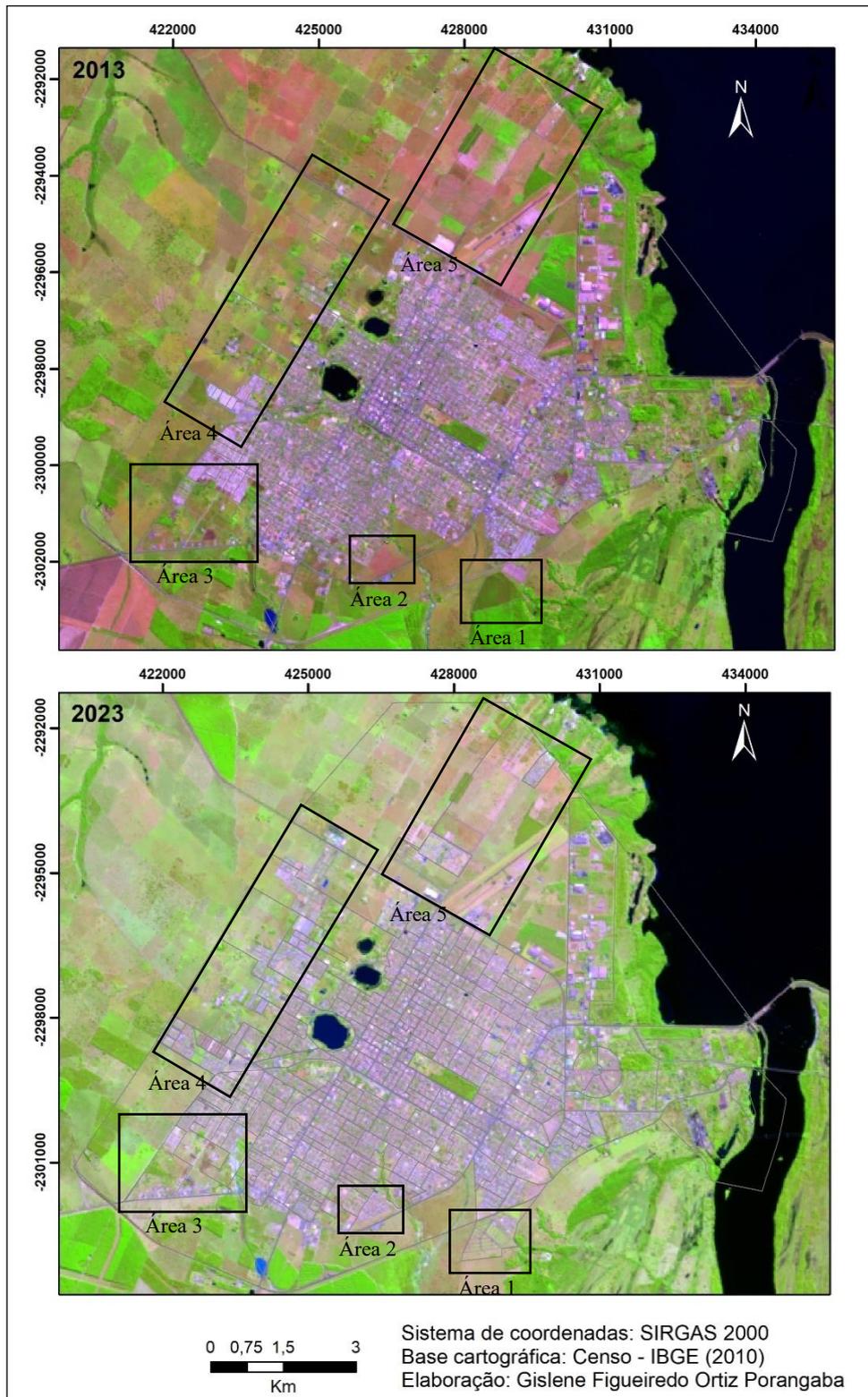
Conforme Delcol e Milani (2022), a cidade de Três Lagoas vivenciou um rápido crescimento populacional em decorrência da implantação de indústrias de papel e celulose, com o acréscimo de mais de 20 mil habitantes entre os anos de 2010 e 2020. Tal processo reverberou na rápida alteração do uso e da ocupação da superfície urbana, como pode ser observado na Figura 2<sup>10</sup>. Na referida carta observa-se que, entre os anos de 2013 e 2023, a cidade se expandiu chegando aos limites da malha nos quadrantes sudeste (*Área 1* - Figura 2), sul (*Área 2* - Figura 2), sudoeste (*Área 3* - Figura 2), noroeste (*Área 4* - Figura 2) e norte (*Área 5* - Figura 2). Para além das áreas destacadas, também se identifica que o interior da malha urbana teve aumento de áreas construídas.

Na Figura 3 é possível destacar a supressão da cobertura vegetal arbórea e rasteira, no período entre 2013 a 2023, na superfície de Três Lagoas, em decorrência da expansão da malha urbana. Nas áreas 1, 2, 3, 4 e 5 da Figura 3, evidencia-se o aumento de áreas com baixo NDVI, ou seja, com a presença de vegetação arbórea e rasteira incipiente.

---

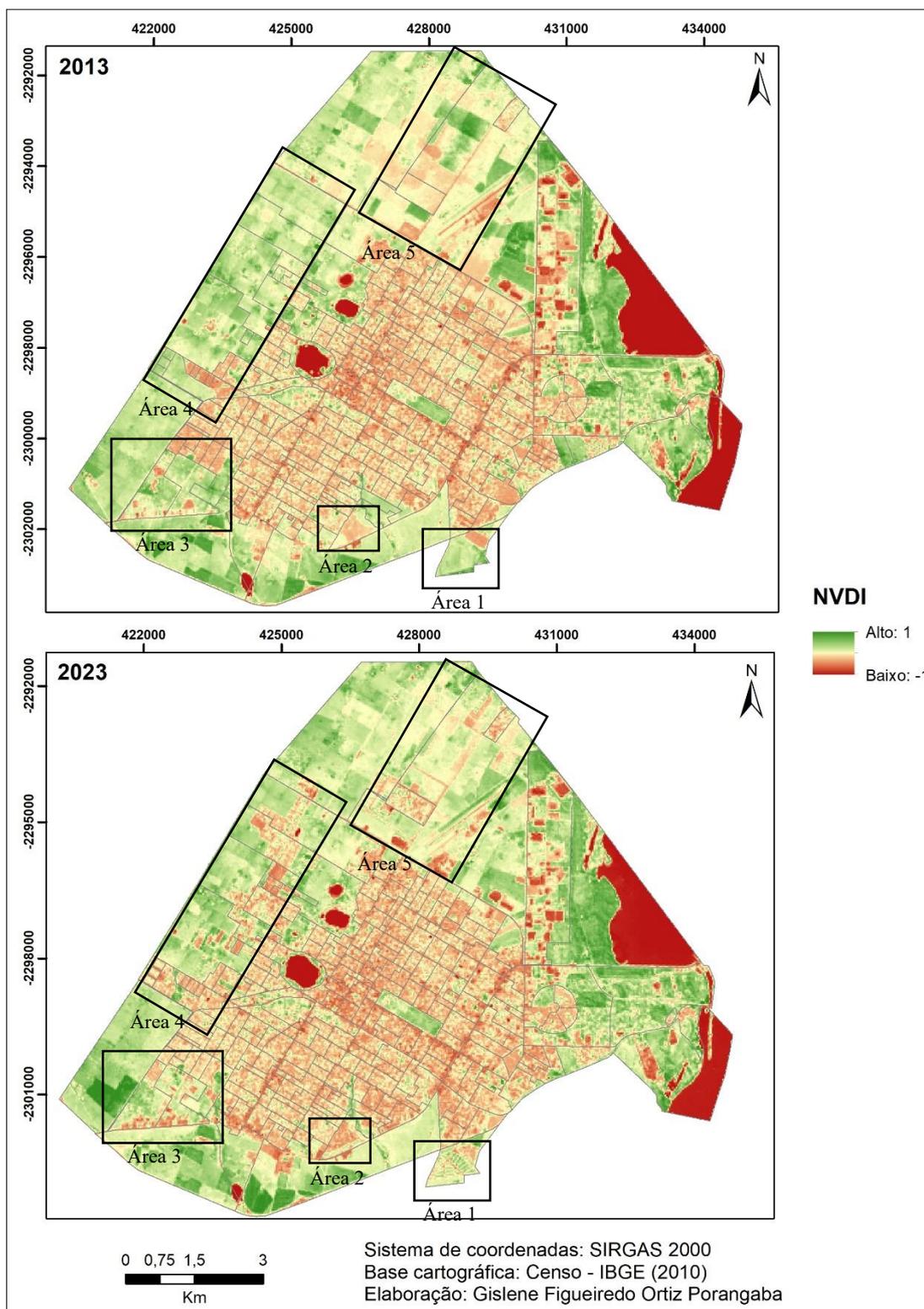
<sup>10</sup> Utilizaram-se imagens de satélite dos anos de 2013 e 2023 devido à disponibilidade no site da USGS.

**Figura 2** - Cartas de composição colorida da cidade de Três Lagoas (MS), junho de 2013 e junho de 2033.



Fonte: Autora, 2023.

**Figura 3** - Cartas de NDVI da cidade de Três Lagoas (MS) – junho de 2013 e junho de 2023.



Fonte: Autora, 2023.

Considerando a importância dos dados meteorológicos de superfície para as análises das ilhas de calor na Tabela 1, observa-se que, aos 30 dias que antecederam a tomada da imagem do dia 09 de junho de 2013, ocorreu um total de 43,4 mm de precipitação, sendo o mesmo total aos 20 dias e 39,6 mm em 10 dias. Para a imagem do dia 21 de junho de 2023, os dados demonstraram uma melhor distribuição da precipitação, sendo um total de 173,8 mm aos 30 dias, 126,3 mm aos 20 dias e 124,8 mm aos 10 dias.

**Tabela 1** - Dados de precipitação de até 30 dias antes do imageamento.

Dias antes	09/06/2013			21/06/2023		
	10	20	30	10	20	30
<b>Precipitação (mm)</b>	39,6	43,4	43,4	124,8	126,3	173,8

Fonte: Estação automática WMO A704 do INMET (2023); organizado pela autora, 2023.

A temperatura do ar na cidade de Três Lagoas nos dias em análise, conforme a Tabela 2, demonstraram temperaturas mais elevadas durante o período de 2013, sendo a temperatura máxima de 30,4 °C, a mínima de 17,2 °C e, no momento da tomada da imagem, de 24,2 °C (09/06/2013). Para o período de 2023, a temperatura do ar apresentou máxima de 29,4 °C, mínima de 12,9 °C e, na hora do imageamento, 21,9 °C. Tais dados, em conjunto com as informações da precipitação, podem auxiliar nas explicações acerca da dinâmica da temperatura de superfície encontrada na Figura 4.

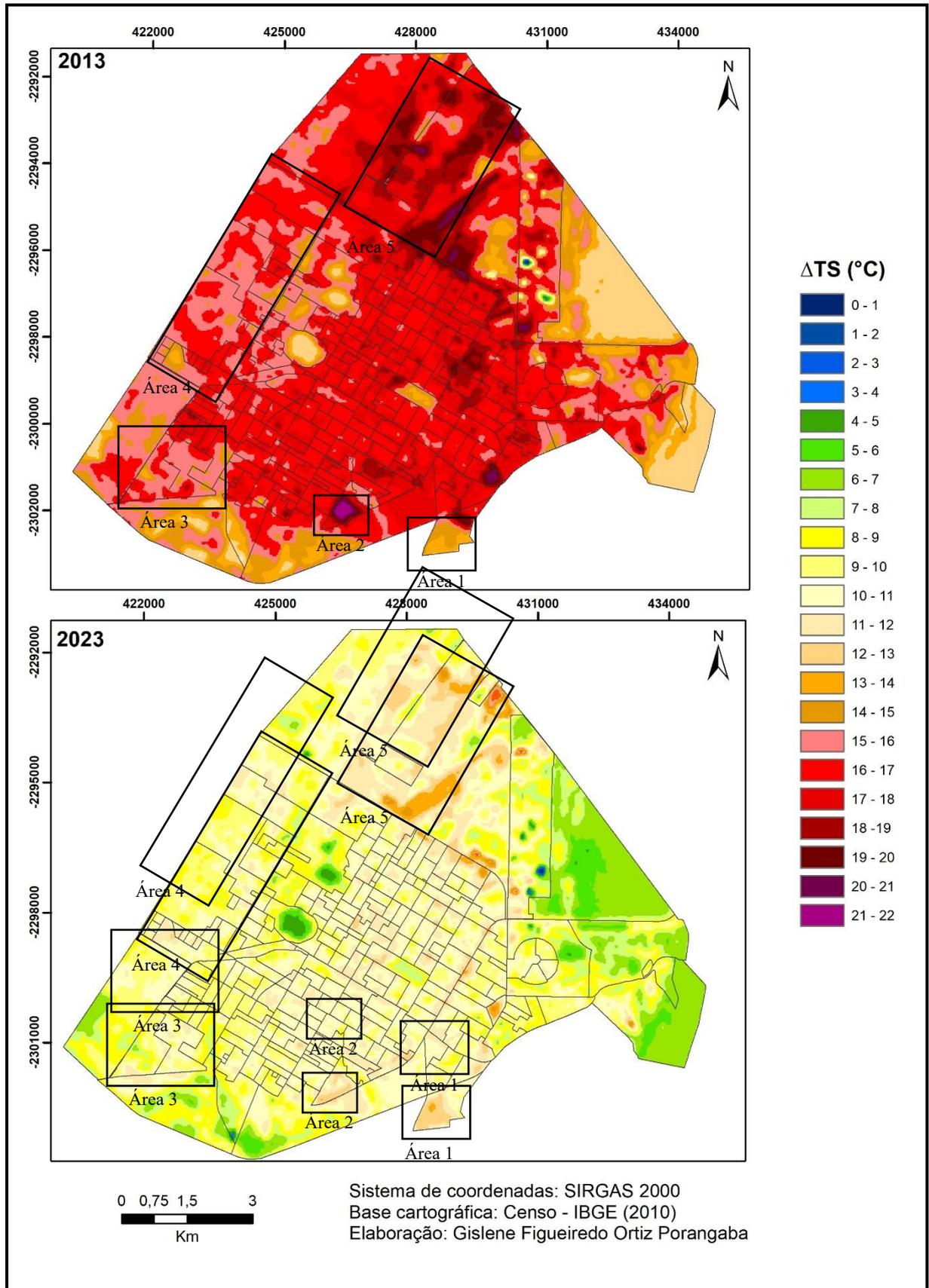
**Tabela 2** - Dados de temperatura do ar no dia do imageamento.

Datas	09/06/2013	21/06/2023
<b>Temp. Máxima</b>	30,4 °C	29,4 °C
<b>Temp. Mínima</b>	17,2 °C	12,9 °C
<b>Temp. Imageamento</b>	24,2 °C	21,9 °C

Fonte: Estação automática WMO A704 do INMET (2023); organizado pela autora, 2023.

A temperatura de superfície da cidade de Três Lagoas durante os meses de junho nos anos analisados se apresentou com intensidade de 22 °C (2013) e 17 °C (2023). Na Área 1 a intensidade da ilha de calor superficial ficou entre 13 e 15 °C, em 2013 e entre 10 e 12 °C, em 2023. A carta de temperatura superficial de 2013 (Figura 4) exibiu temperatura mais elevadas nas áreas 2, 3 e 4, com intensidade de 22 °C, sendo isso reflexo da menor distribuição dos volumes de precipitação nos 30 dias antecedentes e da dinâmica do uso e da ocupação superficial da cidade. Destaca-se, nessa carta, as áreas 2 e 5, que apresentaram baixo NDVI e temperatura superficial mais elevada devido à retirada da vegetação e exposição do solo.

**Figura 4 -** Cartas de temperatura de superfície da cidade de Três Lagoas (MS) – junho de 2013 e junho de 2023.



Fonte: Autora, 2023.

Com referência ao período de 2023, identifica-se, na carta de temperatura de superfície de Três Lagoas, que alguns pontos da cidade apresentaram intensidade de 17 °C, podendo afirmar que a melhor distribuição e maior volume de precipitação nos 30 dias anteriores à tomada da imagem colaboraram para a redução da temperatura superficial. As áreas 2, 3 e 4, nesse período, tiveram a intensidade da ilha de calor superficial menor (entre 8 e 13 °C), se comparada à intensidade do período de 2013 (de 15 a 22 °C).

De modo geral, a distribuição da precipitação interferiu significativamente na configuração das ilhas de calor superficiais da área de estudo desta investigação, corroborando com a literatura científica (Amorim, 2020). O rápido crescimento da cidade estudada (Delcol e Milani, 2022) em direção as bordas da malha urbana, resultou na redução da cobertura vegetal rasteira e arbórea, demonstrada nas cartas de NDVI, e um aumento da temperatura superficial nessas áreas, como observado neste trabalho. Alguns pontos com intensidade da ilha de calor de superfície mais elevada também demonstraram que a exposição do solo contribuiu para tal dinâmica, como pode ser visto ao norte (Área 5). A presença de solo exposto na referida cidade é algo recorrente por conta da ausência de pavimentação asfáltica e de áreas em transição do ambiente natural para o construído.

Em suma, conforme os resultados encontrados, afirma-se que as alterações na superfície urbanizada de Três Lagoas, em conjunto com as características climáticas locais, influenciaram na intensidade da temperatura dos alvos, formando ilhas de calor superficiais em ambos os períodos estudados (2013 e 2023).

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

No presente estudo foram identificadas ilhas de calor superficiais de elevada intensidade na cidade de Três Lagoas nos dois períodos analisados (2013 e 2023), devido às suas características de uso e da ocupação do solo. Os resultados também demonstraram que a dinâmica da temperatura dos alvos está associada ao regime de precipitação que antecede a tomada das imagens pelo satélite. Desta forma, demonstrou-se que, quando houve um maior volume de precipitação nos 30 dias que antecederam as análises, a temperatura de superfície estava mais baixa em 2023, ocorrendo o oposto no ano de 2013.

É importante destacar que as áreas urbanas que contam com a presença de vegetação arbórea ou rasteira apresentaram as menores intensidades da ilha de calor superficial. Tal fato indica que as soluções para a diminuição das temperaturas superficiais estão na manutenção da

cobertura vegetal urbana, entre outras ações, como a pintura dos telhados em cores claras, e utilização de materiais construtivos adequados para o ambiente tropical.

Em resumo, Três Lagoas é uma cidade de ambiente tropical, onde em sua dinâmica climática natural, a população local encontra-se exposta às altas temperaturas, sobretudo durante a primavera e o verão. Isso somado às formações de ilhas de calor de superfície derivadas da forma do uso e da ocupação da superfície urbana leva a um maior desconforto térmico e à necessidade de arrefecimento artificial.

## AGRADECIMENTOS

Ao programa CAPES/COFECUB - processo: 88881.191765/2018-01; Sh 941/19 – projeto: CiCIAMEn (Cidades, Clima e Vegetação: Modelagem e Políticas Públicas Ambientais), pelo apoio financeiro.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), processo nº 422686/2021-2 da chamada CNPq/MCTI/FNDCT Nº 18/2021 – UNIVERSAL.

Ao apoio da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

## REFERÊNCIAS

ALMUTAIRI, M. K. Derivation of urban heat island for Landsat 8 TIRS Riyadh City (KSA). **Journal of Geoscience and Environment Protection**, n. 3, p. 18-23, 2015.

AMORIM, M. C. C. T. **Ilhas de calor em cidades tropicais de médio e pequeno porte: teoria e prática**. 1 ed. – Curitiba: Appris, 2020, 161 p.

AMORIM, M. C. C. T.; DUBREUIL, V.; QUENOL, H.; SANT'ANNA, J. L. Características das ilhas de calor em cidades de porte médio: exemplos de Presidente Prudente (Brasil) e Rennes (França). **Confins (online)**, n. 7, 2009. 16 p.

BRAZ, A. M.; KUNKEL, A. C.; BONI, P. V.; BRAZ, A. M.; MARTINS, A. P. Áreas Verdes e Temperatura da Superfície na Cidade de Três Lagoas/MS. **Revista Formação (online)**, v. 25(45), 2018, p. 93-122.

DELCOL, R. F. R.; MILANI, P. H. A Produção do Espaço Urbano em Três Lagoas – MS com base na Dinâmica Demográfica. **Geografia (Londrina)**, v. 31. n. 2. p. 87 – 106, julho/2022.

FERNÁNDEZ GARCÍA, F. **Manual de climatología aplicada: clima, medio ambiente y planificación**. Madrid: Síntesis, 1995.

FRASCA TEIXEIRA, D. C.; AMORIM, M. C. C. T. Estudo do Clima Urbano a partir da Análise da Temperatura da Superfície no Município de Rancharia-SP. *In: XV Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada*, 2013, Vitória. **Anais [...]**. Vitória: UFES, 2013. p. 49- 56.

FERREIRA, G. G.; PONSO, A.; SAKAMOTO, A. 2014. A variação da temperatura e o uso do solo no bairro vila Piloto em Três Lagoas/MS. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 10, n. 8, p. 35-50. Disponível em: [https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/forum\\_ambiental/article/view/774](https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/forum_ambiental/article/view/774). Acesso em: 24 ago. 2023.

GARTLAND, L. **Ilhas de calor**: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. Tradução Silvia Helen Gonçalves, Oficina de Textos, São Paulo, 2010.

IBGE, 2022. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. População estimada. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ms/tres-lagoas/panorama>. Acesso em: 4 set. 2023.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. 2. ed. São José dos Campos: Parenteses, 2009.

LEIVA, S. R. Islas frías urbanas en la ciudad de Santiago. **Boletín Electrónico de Geografía**, n. 2, p. 32-44, 2014.

LÓPEZ GÓMEZ, A.; FERNÁNDEZ GARCÍA, F.; FERNÁNDEZ RENU, A.; GARCÍA HERNÁNDEZ, E.; ARROYO ILERA, F. **Temperaturas nocturnas y diurnas en Madrid a partir de teledetección aeroportada**. Madrid: Editorial Parteluz, 1998.

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

NOVAIS, G. T. **Climas do Brasil**: classificação climática e aplicações. 1 ed. Porto Alegre, RS: Totalbooks, 2023.

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

ORTIZ PORANGABA, G. F.; FRASCA TEIXEIRA, D. C.; AMORIM, M. C. C. T.; SILVA, M. H. S.; DUBREUIL, V. Modeling the urban heat island at a winter event in Três Lagoas, Brazil. **Urban Climate**, v. 37, p. 1-13, 2021.

PONSO, A. G.; FERREIRA, G. G. 2012. Campo Térmico da Cidade de Três Lagoas: Comparação urbano rural. **Revista Geonorte**, v. 3, n. 5, p. 770-781. Disponível em: <https://periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/2145>. Acesso em: 24 de ago. de 2023.

USGS, 2023. **United States Geological Survey**. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 21 jul. 2023.

VOOGT, J. A.; OKE, T. R. Thermal remote sensing of urban climates. **Remote Sensing of Environment**, n. 86, p. 370-384, 2003.

# **ILHAS SECAS URBANAS EM EPISÓDIO DE INVERNO NA CIDADE DE TRÊS LAGOAS, MS: A IMPORTÂNCIA DOS FRAGMENTOS FLORESTAIS URBANOS PARA AS CONDIÇÕES HIGROMÉTRICAS EM CIDADES TROPICAIS**

*Mauro Henrique Soares da Silva  
Hermiliano Felipe Decco  
Vincent Dubreuil  
Hervé Quènot*

## **INTRODUÇÃO**

As cidades representam a forma mais radical de transformação da paisagem através da ação antrópica que, muitas vezes, deixa de respeitar o ambiente natural para a construção de um ambiente artificial, mudando assim as condições climáticas e ambientais (Fernandez García, 1995). As mudanças das condicionantes climáticas nas cidades são definidas por Monteiro (1976, p. 95) como clima urbano, “um sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização”.

Essas premissas tornam-se importantes uma vez que as mudanças climáticas globais vem sendo tema, cada vez mais frequente, dos debates ambientais, tendo em vista a importância ecológica, social, e econômica do assunto, o que o torna presente em diversas pesquisas nas mais variadas áreas acadêmicas.

Sobre isso, é importante ressaltar a previsão do último relatório do IPCC 2021, onde Ranashingler *et al.* (2021) explicam que é praticamente certo que o aquecimento continuará em toda a América do Sul, e há grande confiança de que, até o final do século, a maioria das regiões passará por situações extremas de condições de estresse por calor e déficit nas condições higrométricas.

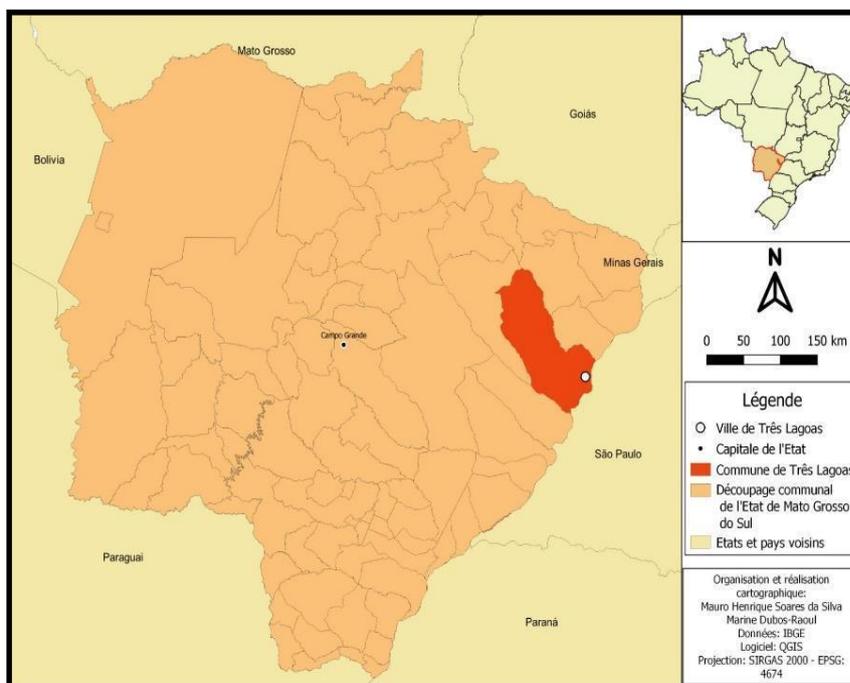
Assim, dentre as problemáticas decorrentes da constituição de um clima, notadamente urbano, sobretudo no contexto das mudanças climáticas previstas para o futuro, estão a formação de ilhas de calor, além das ilhas de secas urbanas, conforme salientam Oke (1981), Gartland (2010) e Carter *et al.* (2015). As primeiras se materializam a partir do momento em que as condições térmicas intraurbanas apresentam temperaturas mais elevadas do que em áreas rurais próximas à cidade. Da mesma forma, as ilhas de seca se referem às diferenças entre o

ambiente urbano e o rural; no entanto, se dão quando o índice higrométrico do ambiente urbano é inferior aos identificados nas áreas vizinhas à cidade (Lokoshchenko, 2017; Kastendeuch *et al.*, 2019; Meili *et al.*, 2022).

A formação de ilhas termo-higrométricas (Ilhas de Calor e/ou Ilhas de Seca) no ambiente urbano, possui explicação na dinâmica de relação entre a superfície e atmosfera ocorrida nos ambientes onde se materializam as cidades. Ou seja, são dependentes tanto das condições e atuações de agentes atmosféricos, quanto da configuração e padrão de uso da superfície urbana. Alves e Specian (2009) afirmam que as anomalias térmicas, chamadas de ilhas de calor, são oriundas da energia líquida proveniente do sistema, uma vez que nas cidades elas são maiores devido ao menor albedo dos materiais urbanos; por sua vez, as anomalias higrométricas, conhecidas como ilha seca, são provenientes da falta de arborização e de corpos hídricos no meio urbano.

Nesse escopo, a cidade de Três Lagoas, localizada na região Leste do Estado de Mato Grosso do Sul (Figura 1), possui uma estrutura urbana marcada por um recente e abrupto crescimento decorrente de uma ruptura no ciclo econômico da região, baseado no crescimento industrial, o qual trouxe impactos significativos na estruturação urbana da Cidade (Bustamante *et al.*, 2017).

**Figura 1** - Localização do Município de Três Lagoas no estado de Mato Grosso do Sul.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Santos, Neves e Melo (2020) mencionaram o título da cidade de Três Lagoas, “capital mundial da celulose”, por conta do desenvolvimento e territorialização do agronegócio do eucalipto, por meio da instalação de empresas do complexo eucalipto-celulose-papel. Os autores evidenciam que esse processo trouxe uma radical mudança na demografia da cidade, com significativo aumento populacional, acompanhado ainda da reconfiguração da paisagem urbana do município. Delcol e Milani (2022) apontaram que a população total de Três Lagoas passou de 68.162 habitantes em 1991 para 123.281 habitantes em 2020.

Dentro desta dinâmica de mudanças da paisagem urbana abrupta, e em um contexto, aqui já mencionado de previsões de aquecimento regional futuro, tanto Cerqueira e Silva (2017), quanto Silva, Ortiz Porangaba e Freitas (2020), Borges e Silva (2021) e Ortiz Porangaba *et al.* (2021), anunciaram problemas em relação ao superaquecimento da área urbana de Três Lagoas.

Contudo, é preciso ainda ressaltar que a cidade está localizada em um contexto climático regional que interfere diretamente na quantidade de vapor d’água na atmosfera, principalmente durante o período de inverno. Marcuzo, Cardoso e Faria (2012) explicaram que, em decorrência do deslocamento da ZCIT para o Hemisfério Norte nesse período, na região Centro-Oeste do Brasil, onde se localiza o município de Três Lagoas, ocorrem baixos índices de umidade, e quase nenhuma precipitação, materializando um inverno seco.

Portanto, com base nessas características apresentadas para a cidade de Três Lagoas, e frente à carência de pesquisas de clima urbano que abordem as condições higrométricas deste ambiente, a presente pesquisa possui o objetivo principal de identificar e analisar a ocorrência de ilhas higrométricas no ambiente urbano de Três Lagoas, em Mato Grosso do Sul, tendo como foco temporal o episódio de julho, no inverno de 2021, analisando principalmente a importância da presença dos fragmentos florestais urbanos em Três Lagoas como influentes no aporte higrométrico intraurbano.

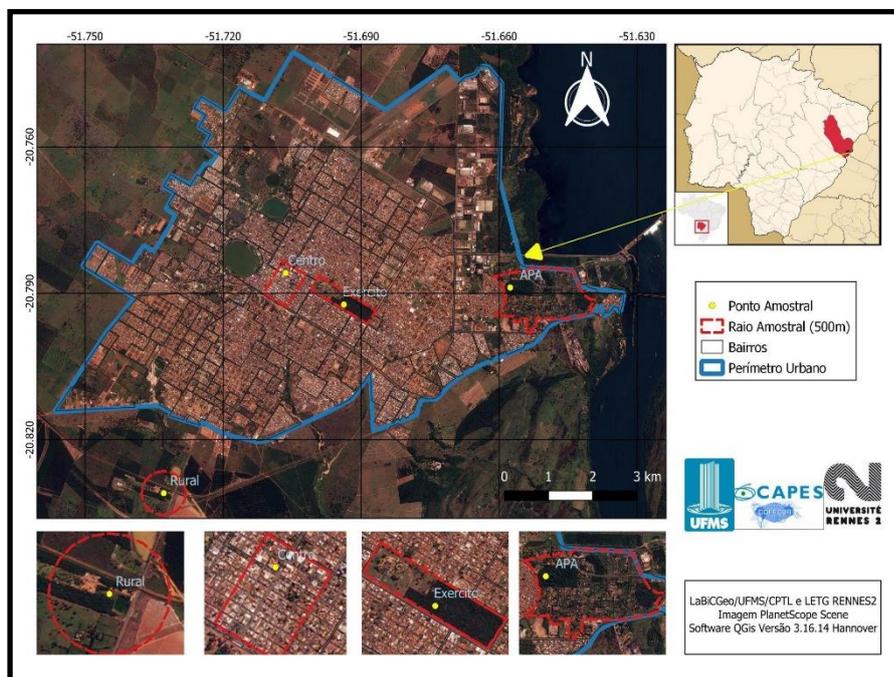
## **METODOLOGIA**

Para as análises das condições higrométricas da cidade de Três Lagoas, os procedimentos metodológicos são organizados em três fases: seleção dos pontos amostrais considerando a paisagem local, seguindo com instalação de aparelhos para coleta de dados de umidade relativa e temperatura do ar, para cada hora do dia; análise quali-quantitativa da cobertura vegetal na malha urbana, por meio do NDVI, com avaliação comparativa entre os

pontos amostrais pré-selecionados; e, identificação das condições higrométricas e formação de ilhas secas nos pontos amostrais.

Na primeira fase da pesquisa, considerando a importância dos fragmentos florestais urbanos, foram estabelecidos três pontos amostrais na área intraurbana, e um ponto amostral na área rural (Figura 2). Em cada ponto amostral, foi instalado um aparelho termo-higrômetro (HOBO U23) configurado para registro de dados horários de temperatura (em graus Celsius) e umidade relativa do ar, em percentual, no período de 31 dias, durante o mês de julho de 2021.

**Figura 2** - Localização pontos amostrais na área de estudo.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

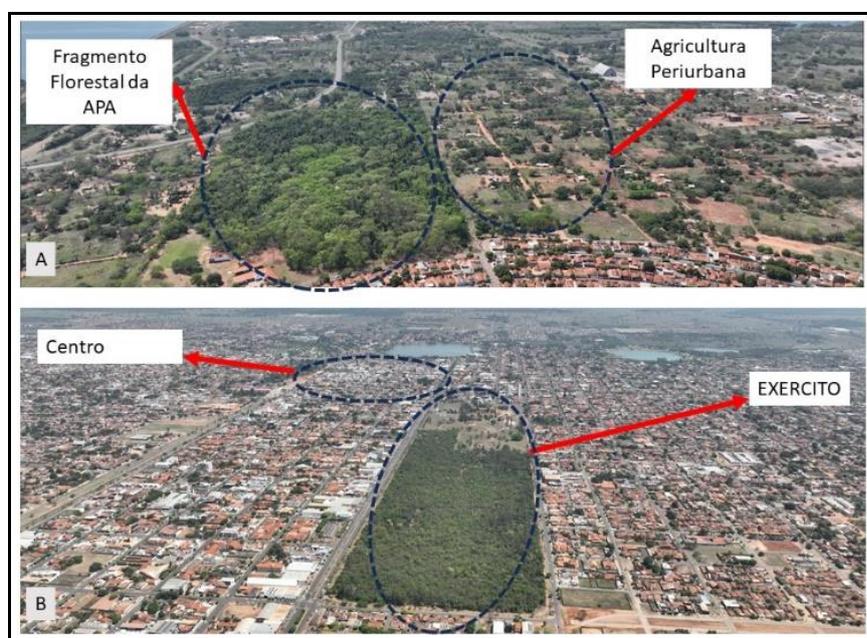
O primeiro ponto, denominado “Rural”, foi estabelecido como ponto base desta pesquisa, considerando as recomendações de Amorim (2020), e está localizado a aproximadamente 4 quilômetros do centro da cidade, em área externa ao perímetro urbano. Possui superfície composta por fragmentos de floresta do tipo Cerrado, além de pastagens.

O segundo ponto denominado “Centro”, estava localizado no centro da cidade, sendo caracterizado por concentração de edificações prediais, as quais são, em sua maioria, utilizadas para fins comerciais, apresentando ainda calçadas e vias pavimentadas, possuindo fluxo significativo de veículos automotores de pequeno porte e de pedestres.

O terceiro ponto, denominado APA do Jupiá, é considerado tanto por Braz *et al.* (2018) quanto por Silva *et al.* (2018) como a maior área verde da cidade, pois é formada por um

conjunto de três blocos de vegetação arbórea, possuindo, ao todo, 0,49 km<sup>2</sup> de extensão. Esta área verde faz parte de uma unidade de conservação de uso sustentável (Área de Preservação Permanente), instituída por lei municipal em 2009, a qual, além do agrupamento de cobertura vegetal arbórea densa, com presença de vegetação transicional entre Mata Atlântica e Cerrado (Silva, *et al.*, 2018), ainda é constituída por parcela de sua superfície ocupada por lotes com dinâmica de agricultura familiar periurbana, uma vez que a referida unidade de conservação engloba áreas de lotes do Cinturão Verde de Três Lagoas (Figura 3a).

**Figura 3** - Principais áreas de cobertura vegetal da superfície urbana de Três Lagoas: a) APA do Jupιά com destaque para um dos fragmentos florestais da área e os lotes do Cinturão Verde; b) Exército, com destaque para o fragmento florestal do 3<sup>a</sup> Bateria de Artilharia Antiaérea, e ao fundo o centro urbano.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Por fim, o quarto ponto, denominado “Exército”, que representa um dos importantes fragmentos florestais presentes na cidade de Três Lagoas. De acordo com Braz *et al.* (2018) esta área aporta cerca de 0,30 km<sup>2</sup> de vegetação natural preservada (Figura 3b) junto à 3<sup>a</sup> Bateria de Artilharia Antiaérea do Exército Brasileiro, e é relativamente próxima ao centro urbano. Os referidos autores ainda evidenciaram se tratar de uma área de grande importância ambiental, preservando remanescentes de vegetação nativa, que contribui para o conforto térmico do local e a qualidade do ar, já que está localizada numa das áreas com maior densidade de construções e próxima ao centro da cidade.

Após a seleção dos pontos amostrais, foi realizado o geoprocessamento de imagens de satélites CBERS 4A, datadas de 1º de julho de 2021, com resolução de 8 metros, em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica), com auxílio do software (livre) QGis versão 3.16.14 – *Hannover*, para elaboração de uma carta de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), com base em Braz *et al.* (2018) e Dorne *et al.* (2018). Esse procedimento foi realizado em um recorte de cada imagem, compreendido por um quadrante envolvente, o qual cobre toda a área do perímetro urbano da cidade de Três Lagoas e seu espaço rural próximo.

Para cada produto alcançado com esse cálculo de produtos *rasters*, foi ainda realizado um *buffer* a partir do polígono da área de cada um dos pontos amostrais intraurbanos, e de um raio de 500 metros a partir do ponto amostral “Rural”. Foram, portanto, extraídos dados estatísticos (máxima, mínima, média e desvio padrão) dos referidos pontos, de modo a caracterizar as especificidades de cada ponto em relação a sua cobertura vegetal.

A terceira e última etapa se refere à análise das condições higrométricas horárias dos quatro distintos pontos amostrais selecionados para esta pesquisa. Essa etapa reuniu procedimentos em duas vias analíticas distintas.

Na primeira, foram realizados procedimentos apoiados em Saraiva (2014), e Moreira, Amorim e Garcia (2019) de modo a analisar os níveis de alerta à saúde da população com base nos limiares higrométricos estabelecidos pela Organização Mundial de Saúde (OMS). A interpretação dos limiares de Nível de Alerta a Saúde Humana (OMS) foi classificada de acordo com a sua intensidade (Tabela 1) e representada graficamente em painéis elaborados com uso dos softwares Excel e *Surfer* (Versão *Trial*).

**Tabela 1** - Classificação dos Níveis de Alerta à Saúde Humana com base na Umidade Relativa de acordo com as Recomendações das Organização Mundial de Saúde.

$\leq 30$	Alerta/Atenção à Saúde Humana
$>30 \leq 60$	Não recomendada à Saúde Humana
$> 60$	Recomendada à Saúde Humana

Fonte: Adaptado de Saraiva (2014) e Moreira, Amorim e Garcia (2019).

A segunda via da terceira etapa adotou a metodologia de Kastendeuch, Najjar e Philips (2019), e Gobo, Bibiano e Galvani (2019). O primeiro considerou como variável a “Pressão Parcial do Vapor d’água” e o segundo utilizou a variável “Umidade Absoluta” para analisar a presença de ilhas de seca e a intensidade desses episódios, em escala horária e diária. Ambos

os autores concordam que tais variáveis são mais representativas no que tange à quantificação do vapor d'água na atmosfera. Gobo, Bibiano e Galvani (2019) anunciaram que a importância da umidade absoluta se deve por esta não apresentar dependência da temperatura do ar, como a umidade relativa, bem como expressa o conteúdo de vapor d'água total de um determinado local em gramas de água por metro cúbico de ar ( $\text{g}/\text{m}^3$ ).

Assim, para a “Pressão Parcial de Vapor d'água” na atmosfera local de cada ponto amostral urbano, foi primeiramente identificada a “Pressão de Saturação de Vapor d'água” ( $e_w$ , hPa), com auxílio da equação de Tetens (Equação 1) que, de acordo Kastendeuch, Najjar e Philips (2019) fornece uma precisão inferior a 1 Pa.

$$e_w = 6.107 * 10^{(7.5 * T / (237.3 + T))} \quad (1)$$

Onde:

$e_w$  = Pressão de Saturação de Vapor d'água.

$T$  = Temperatura.

Em seguida, a Pressão Parcial do Vapor d'água ( $e$ , hPa) foi obtida por meio da equação 2, por ponderação entre os resultados da  $e_w$  com aqueles de umidade relativa (UR) de cada ponto amostral:

$$e = e_w * UR / 100 \quad (2)$$

Onde:

$e$  = Pressão Parcial do Vapor d'água.

$e_w$  = Pressão de Saturação de Vapor d'água.

$UR$  = Umidade Relativa do Ar.

Após isso, os procedimentos equacionais seguiram as bases de Torres *et al.* (2011) e de Gobo, Bibiano e Galvani (2019), aplicando-se a equação 3 para a identificação da umidade absoluta (UA), dada em  $\text{g}/\text{m}^3$ .

$$U_a = 2168 * [e / (237 + T)] \quad (3)$$

Onde:

$U_a$  = Umidade Absoluta.

$e$  = Pressão Parcial do Vapor d'água.

$T$  = Temperatura.

Adaptando a metodologia de Kastendeuch, Najjar e Philips (2019), que buscaram identificar as ilhas higrométricas por meio das diferenças de pressão parcial de ( $\Delta e$ ) entre os ambientes rural e urbano, (equação 4), nesta pesquisa realizou-se a identificação da intensidade

das Ilhas Secas  $\Delta UA$  pela diferença entre a umidade absoluta entre os ambientes urbanos e o rural (Equação 4), cuja a classificação foi estabelecida conforme a Tabela 2.

$$\Delta UA = UA_u - UA_r \quad (4)$$

Onde:

$UA_u$  = Umidade Absoluta em ambiente urbano.

$UA_r$  = Umidade Absoluta em ambiente rural.

**Tabela 2** - Intensidade de Ilhas de Seca e Umidade com base na Pressão Parcial de Vapor d'água na atmosfera.

$\Delta UA$	Classificação	Intensidade
$< -2 \text{ g/m}^3$	Ilha de Seca	Forte
$\geq -2 < 0 \text{ g/m}^3$	Ilha de Seca	Fraca
$> 0 \leq 2 \text{ g/m}^3$	Ilha de Umidade	Fraca
$> 2 \text{ g/m}^3$	Ilha de Umidade	Forte

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

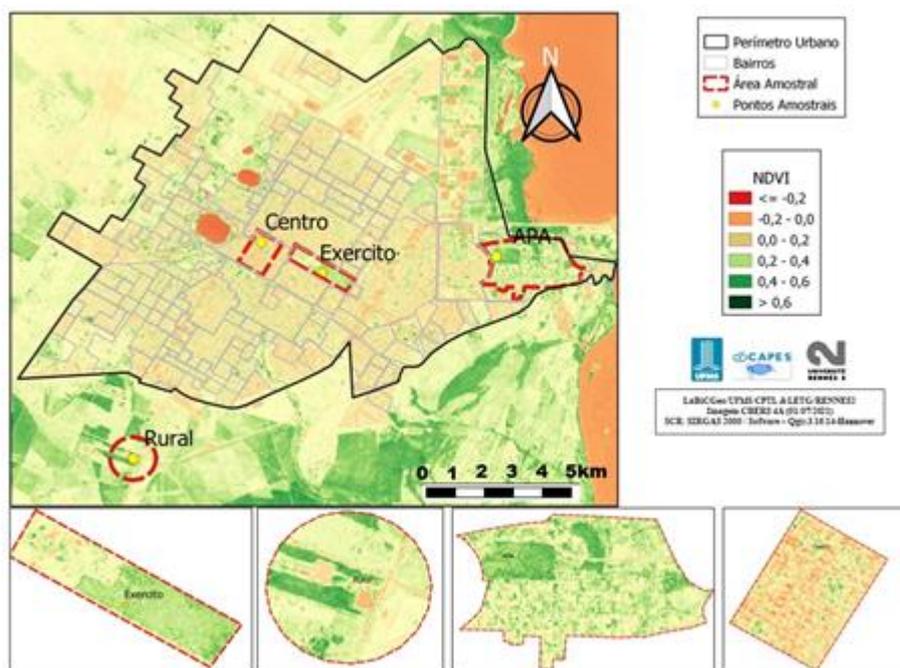
O geoprocessamento das imagens de satélites revelou padrões de reflectância dos alvos da superfície urbana de Três Lagoas, para o período de julho de 2021 que indicam carência de biomassa vegetal na região, inclusive nas áreas rurais, principalmente na região norte da cidade, o que pode ser constatado tanto em relação aos dados de Índice de Vegetação quanto da Temperatura de Superfície (Figura 4).

Ressalta-se que o referido episódio de inverno analisado para essa região esteve sob intensa influência da Massa de Ar Polar, que atuou aqui de forma tropicalizada, ou seja, sem aportes de umidade como característica original, o que é provado com os dados disponibilizados pelo Centro de Monitoramento do Tempo e do Clima de Mato Grosso do Sul (CEMPTEC/MS), que demonstram que a média da umidade relativa do ar em julho de 2021 em Três Lagoas foi de 47,7%, com média de máximas de 74,6% e média das mínimas de 11% de umidade relativa do ar. Ressalta-se, ainda, que não houve fenômeno de precipitação e que a média da temperatura do ar ficou em torno de 19,2 °C.

Tal condição atmosférica se materializa como um importante indicativo da presença de vegetação seca em Três Lagoas, ou seja, com carência de biomassa vegetal ativa. Como representado na Figura 4, essa situação se evidencia tanto em grande parte do ambiente rural, ocupado por pastagens, quanto nas áreas de vazios urbanos de Três Lagoas, também compostas por terrenos sem cobertura vegetal ou com cobertura rasteira. Nessas condições se tornam,

portanto, de suma importância, a presença dos fragmentos florestais urbanos de cobertura vegetal arbórea, os quais apresentaram índices NDVI superiores a 0,2 e, conseqüentemente, com potencial de influências termo-higrométricas no ambiente urbano.

**Figura 4** - Índice de Vegetação Por Diferença Normalizada (NDVI), para o dia 1º de julho de 2021 (inverno), em Três Lagoas (MS), com destaque para os quatro pontos amostrais da pesquisa.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

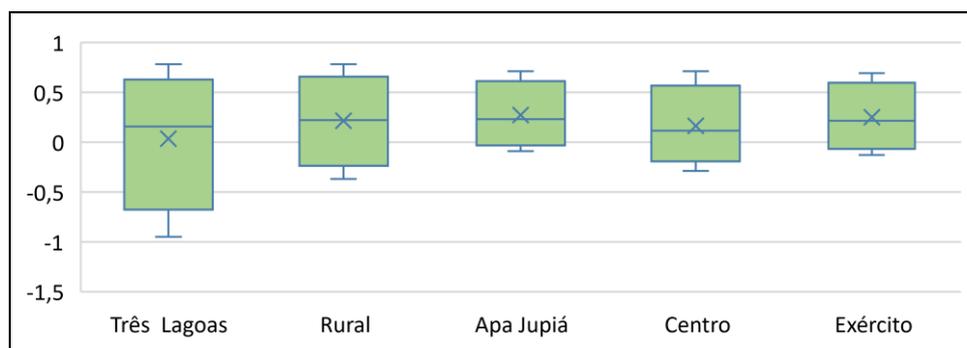
A comparação estatística entre as condições de superfície dos pontos amostrais revelou que o centro urbano da cidade de Três Lagoas possuía índice de vegetação variável com máximos de 0,7, ou seja, presença de pontos com biomassa ativa. Porém, assim como na área rural e no ponto Exército, foram verificadas existência de manchas com valores de NDVI inferiores a -0,1, ou seja, sem biomassa vegetal ativa, o que proporciona alta reflectância desses alvos. Por sua vez, a APA do Jupiá possuía NDVI mínimo e médio mais elevado que os demais pontos, o que de acordo com Nabucet (2019), pode agregar importante indicativo de influência na composição térmica e higrométrica em área urbana (Figura 5).

Tais condições de superfície, em relação à cobertura vegetal, são importantes para compreender as relações dinâmicas no SSA (Sistema-Superfície- Atmosfera) na malha urbana da cidade de Três Lagoas, sobretudo no que se refere às questões termo-higrométricas.

Em relação às questões térmicas, a influência fica evidente uma vez que os dados de temperatura ambiente adquiridos para o período analisado revelaram padrões diários

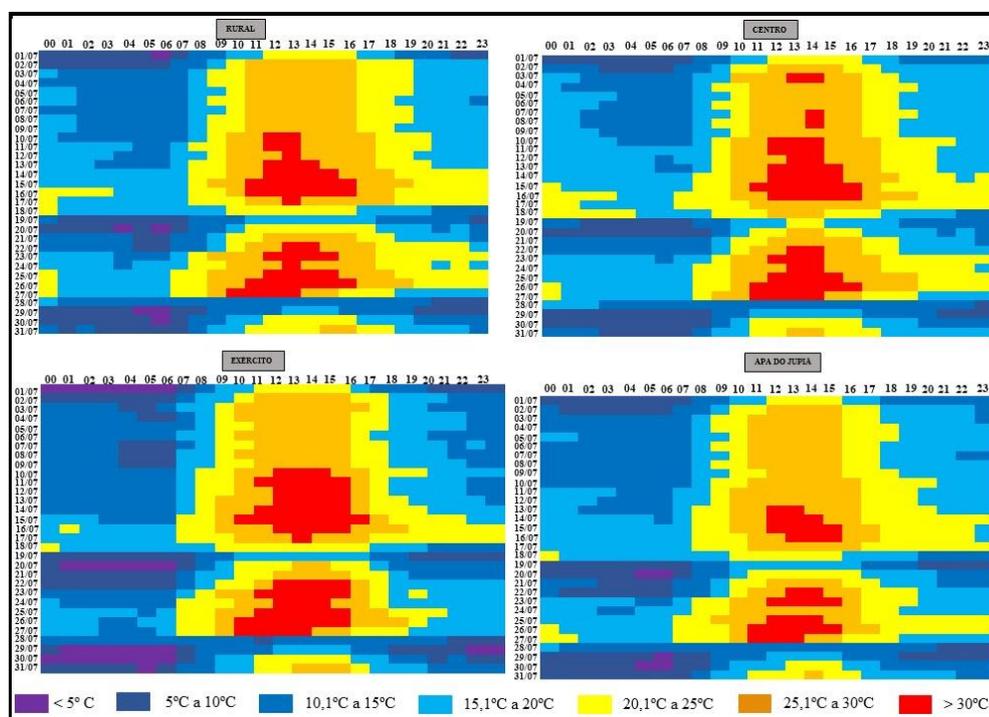
semelhantes de variabilidade térmica entre os pontos amostrais, com aquecimento nos horários iniciais da manhã, e acentuados ao longo do dia, devido à influência da incidência solar, com amenização térmica nos períodos noturnos (Figura 6). Cabe ainda destacar que tal dinâmica revela amenização térmica e maior resfriamento nos períodos noturnos, nos pontos com melhores quadros de biomassa vegetal ativa, ou seja, na APA do Jupuí e no ponto Exército, que apresentaram média e mínima de NDVI superiores aos demais pontos (Figura 5).

**Figura 5** - Estatísticas do Índice de Vegetação da área urbana e dos pontos amostrais de Três Lagoas para 1º de julho de 2021 (inverno).



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

**Figura 6** - Padrões térmicos do ambiente nos pontos amostrais de Três Lagoas para o mês de julho de 2021 (inverno).

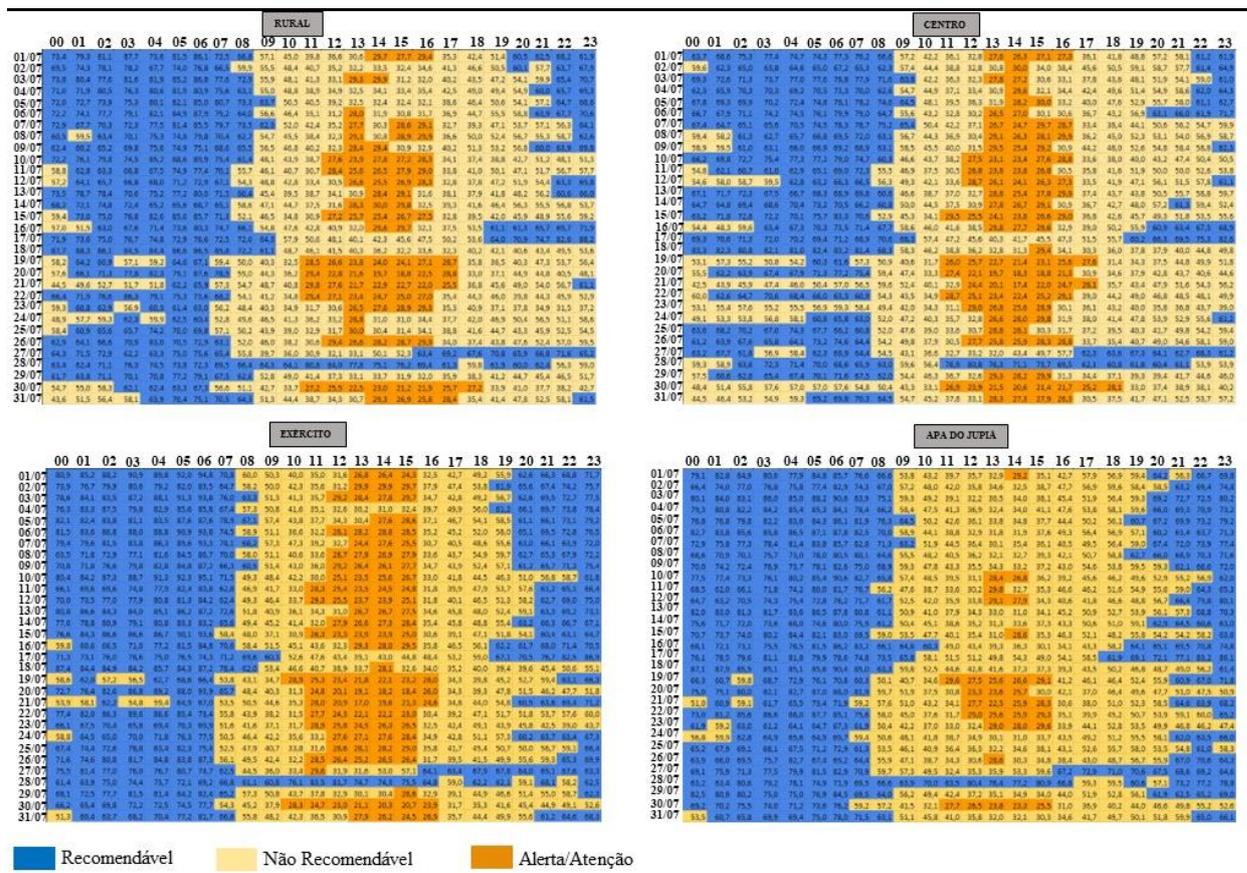


Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Destaca-se, também, em relação às condições térmicas do ambiente, que a área da Unidade de Conservação (APA do Jupia) apresentou temperaturas inferiores em relação à área rural, em todos os horários, sendo a diferença mais evidente a partir das 16 horas, adentrando o período noturno. Já a área do Exército mostrou-se menos aquecida que a área rural apenas no período noturno, evidenciando temperaturas mais altas entre 7h e 15h. Por sua vez, o centro da cidade apresentou temperaturas mais elevadas que a área rural, sobretudo nos períodos noturnos, com acentuado aquecimento entre 12h e 15h.

Em relação às condições de umidade relativa do ar, foi possível identificar a presença de horários não recomendados à saúde humana, bem como de alerta ou atenção em todos os pontos amostrais (Figura 7), conforme as recomendações da OMS. Estas condições higrométricas, baseadas na umidade relativa, se relacionam diretamente com os padrões térmicos descritos anteriormente.

**Figura 7 - Classificação horária da umidade relativa em relação à saúde humana, para o mês de julho de 2021, nos quatros pontos amostrais de Três Lagoas (MS), de acordo com as recomendações da Organização Mundial da Saúde.**



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Nos quatro pontos, a partir das 7h, com o aumento da intensidade da radiação solar na superfície, se iniciam as condições de umidade relativa do ar classificadas como “Não Recomendáveis” à saúde humana, destacando que, tanto na área central quanto no ambiente rural, essa condição pode se estender mais frequentemente nos períodos noturnos, com episódios que perduram mais de 24 horas principalmente no centro da cidade.

Já nos pontos com presença de fragmentos florestais com biomassa mais ativa (Exército e APA Jupιά), são as condições de umidade relativa do ar classificadas como “Recomendáveis” que são comumente mais frequentes em todos os horários noturnos, principalmente na APA do Jupιά, a qual ainda tem como característica importante a menor ocorrência de episódios de “Alerta/Atenção”, em relação aos demais pontos.

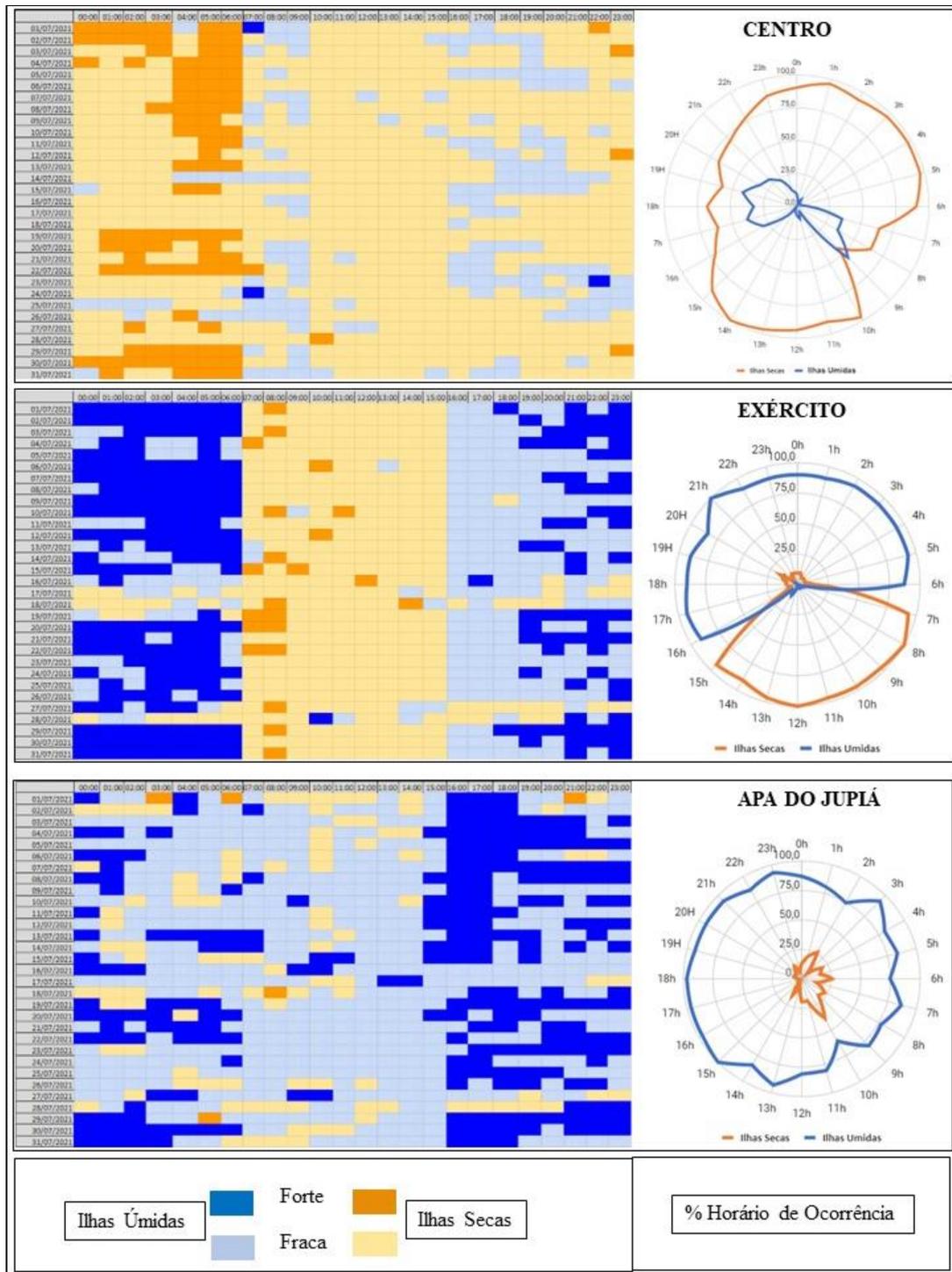
Essa configuração pode estar ligada às características específicas do fragmento florestal, o qual se refere a uma área transicional entre cerrado e mata atlântica e, portanto, com espécies mais resistentes ao inverno (Silva *et al.*, 2018), principalmente quando comparado ao fragmento florestal do ponto amostral Exército, predominantemente composto de espécies de cerrado, com dinâmica de perda de biomassa vegetal na referida estação do ano.

Contudo, é com os dados de umidade absoluta, sobretudo em relação às diferenças desta variável entre os ambientes urbanos e a área rural, que é possível destacar a presença dos horários com ocorrências de ilhas secas e ilhas úmidas (Figura 8).

Os dados revelaram o predomínio da ocorrência de condições secas na área central de Três Lagoas, as quais são frequentes durante todo o dia, com intensidade mais forte nos períodos noturnos, principalmente a partir das 21h, perdurando até às 6 horas da manhã. Apenas entre 7h e 9h e entre 17h e 20h, as condições úmidas, em sua maioria fracas, ocorrem nesta área. Vale destacar que as condições térmicas deste ponto revelaram o período noturno como sendo mais aquecido em relação aos demais.

Nesse sentido, é preciso destacar que em todos os pontos foi detectada relação, mesmo que moderada, entre a temperatura e a umidade relativa, bem como a umidade absoluta, destacando que o aporte de umidade de cada ponto aumenta em detrimento da diminuição da temperatura. Tal correlação possui coerência com as pesquisas de Gobo, Bibiano e Galvani (2019) em Espírito Santo do Pinhal (SP), e Minaki, Dubreuil e Amorim (2022) em Maringá (PR).

**Figura 8** - Condições higrométricas nos três pontos amostrais urbanos de Três Lagoas no período de julho de 2021 (inverno), com destaque para o percentual horário de ocorrência do fenômeno.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Essa condição revela que a área central é muito distinta, quando comparada às ocorrências das ilhas higrométricas nas demais áreas urbanas, cuja paisagem é composta pela presença de fragmentos florestais, tais como o Exército e a APA do Jupiá, mostrando que a

presença da vegetação é um importante elemento da paisagem para o aporte de vapor d'água na atmosfera, sobretudo pela capacidade de arrefecimento térmico, conforme afirmações de Nabucet (2019), que evidencia ainda que essa influência depende do tipo, formato, características específicas e fenologia da formação vegetal presente no ambiente urbano.

Na área do Exército, por exemplo, as ilhas secas ocorrem sobretudo durante o período diurno, a partir do aumento da intensidade da radiação solar, às 7 horas, se estendendo até o período vespertino, às 15 horas. O período mais impactante para a população residente nas áreas próximas se dá entre 7 horas da manhã e 12 horas, pois se trata de horário com predomínio de ocorrência de fortes ilhas secas. Cabe ainda ressaltar que é exatamente nesse intervalo horário que a área apresentou condições térmicas mais aquecidas em relação à área rural.

A partir das 16h inicia-se o período com ocorrência predominante de ilhas úmidas, de intensidade forte, com duração vista em todo o período noturno até às 7 horas da manhã, com raros episódios de ilhas secas presentes nesse horário durante o mês julho de 2021. Cabe ressaltar aqui, que, por mais que tais horários apresentem ilhas úmidas, ao compararmos com os dados da Figura 7, os horários entre 16 e 20 horas não necessariamente são favoráveis ao cotidiano cidadão, uma vez que tanto o ponto rural quanto o ponto amostral Exército foram classificados como não recomendados à saúde humana. Portanto, nos referidos pontos é preciso considerar que tais horários devem ser evitados pela população, no inverno, para atividades que exijam esforço físico.

Contudo, o ponto amostral “APA do Jupirá” foi aquele que se revelou com maior impacto nas condições higrométricas locais em Três Lagoas. Os dados permitem afirmar que tanto as especificidades fenológicas das espécies que compõem o fragmento florestal quanto a composição da superfície ao seu redor, ocupada por dinâmica de agricultura familiar periurbana, permitem condições térmicas e um aporte de vapor d'água na atmosfera superior aos demais pontos amostrais, com exceção apenas se comparada aos horários das madrugadas na área do Exército (Figura 8), momento em que esse ponto mostra um fenômeno de intensificação das condições úmidas. Cabe aqui destacar que, durante a madrugada, a área do Exército perde temperatura de modo mais intenso do que a APA do Jupirá e, portanto, esse fenômeno pode acionar o efeito de brisa e, hipoteticamente, dinamizar o direcionamento do vapor d'água para a área do Exército nesse momento. Tanto Gobo, Bibiano e Galvani (2019) quanto Kastendeuch, Najjar e Philipps (2019) afirmaram, em suas pesquisas, que a circulação local e a relação da evapotranspiração podem influenciar No aporte de umidade na atmosfera local.

Na APA do Jupuíá, com raras exceções de ocorrência de ilhas secas durante o mês de julho de 2021, o período foi predominantemente acometido pela presença de ilhas úmidas, Estas se apresentaram com fraca intensidade durante o período diurno, mas aumentam de intensidade, sendo classificadas como ilhas úmidas de forte intensidade, durante todo o período noturno, sendo mais proeminentes no período das 16h às 23h.

Por tratar-se de uma unidade de conservação de categoria de uso sustentável, pois se trata de uma APA (Área de Preservação Permanente), a APA do Jupuíá demonstra que a conservação dos elementos florestais da paisagem, assim como o uso saudável do ambiente com agricultura tipo familiar periurbana, agrega importante influência microclimática à área, combatendo a formação de episódios de ilhas secas.

### **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A pesquisa evidenciou a importância dos fragmentos florestais urbanos na cidade de Três Lagoas para o aporte de umidade atmosférica no clima urbano desta cidade. Verificou-se a ocorrência de ilhas úmidas noturnas de intensidade forte em ambas as áreas amostrais detentoras de cobertura de superfície constituída por floresta arbórea, sendo que, no caso da APA do Jupuíá, composta por fragmento florestal com fenologia resistente à severidade higrométrica do inverno desta região tropical, a biomassa vegetal ativa esteve mais presente, acarretando no prolongamento da ocorrência das ilhas úmidas durante quase todos os horários dos dias do mês de julho de 2021.

Além disso, é preciso ressaltar que a área da APA do Jupuíá se trata de uma unidade de conservação de uso sustentável. Por isso possui, em sua composição paisagística, o parcelamento de seu território em lotes ocupados por agricultura familiar. Essa configuração pode auxiliar no aporte de vapor d'água na atmosfera local e muito contribuir para as áreas urbanas próximas, uma vez que se trata de área de agricultura periurbana.

A fenologia do fragmento florestal de cerrado situado na área da 3ª Bateria de Artilharia Antiaérea (Exército), proporciona, em período do inverno, a diminuição da biomassa ativa, permitindo a formação de ilhas secas com forte intensidade principalmente no período diurno, nos horários iniciais do dia (7h da manhã). Esta área merece especial atenção para atividades que exijam esforço físico, sobretudo para populações mais vulneráveis em relação aos aspectos de saúde: pessoas idosas ou com morbidades respiratórias e/ou cardiovasculares. Porém, os horários noturnos são relativamente mais beneficiados pela presença da vegetação, no que tange

à presença do vapor d'água na atmosfera local, uma vez que, a partir das 16h, foram verificadas ilhas úmidas. Estas experimentaram intensidade forte entre 20h e 6h.

Por fim, a área central com características de cobertura de superfície mais homogênea, porém dotada de carência de cobertura vegetal, revelou problemas em relação aos padrões higrométricos locais, com o predomínio da ocorrência de fenômenos de ilhas secas, sobretudo noturnos, quando frequentemente se apresentam com intensidade forte.

Por esta pesquisa tratar-se de análise episódica, em período de inverno, e com escala temporal de 31 dias de dados analisados, recomenda-se novos estudos relacionados ao aporte de umidade em cidades de médio e pequeno porte em regiões tropicais, sobretudo em Três Lagoas buscando uma melhor compreensão dos padrões climáticos urbanos e, principalmente, relacionando estes aos aspectos biogeográficas da vegetação urbana, aos indicadores de conforto térmico humano, à saúde ambiental urbana e à vulnerabilidade socioambiental das populações residentes.

## AGRADECIMENTOS

Ao programa CAPES/COFECUB - processo: 88881.191765/2018-01; Sh 941/19 – projeto: CiCIAMEn (Cidades, Clima e Vegetação: Modelagem e Políticas Públicas Ambientais), pelo apoio financeiro.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, E. D. L.; SPECIAN, V. Contribuição aos estudos do clima urbano: variação térmica e higrométrica em espaços intra-urbanos. **Mercator**, Fortaleza, CE, v. 8, n. 17, p. 181-191, set. 2009.
- AMORIM, M. C. C. T. Ilhas de calor urbano em cidades de pequeno e médio porte no Brasil e o contexto das mudanças climáticas. **Confins (online)**, n. 46, 2020.
- BORGES, D. S.; SILVA, M. H. S. Análise Da Cobertura Vegetal E Sua Relação Com O Microclima Em Praças Públicas Urbanas Na Cidade De Três Lagoas (MS). **Revista Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium**, Ituiutaba, MG, v. 12, n. 1, p. 4-22, jan. 2021.
- BRAZ, A. M.; KUNKEL, A. C.; BONI, P. V.; BRAZ, A. M.; MARTINS, A. P. Áreas Verdes e Temperatura de Superfície na Cidade de Três Lagoas/MS. **Revista Formação (online)**, v. 25, n. 45, p. 93-122, mai. 2018.
- BUSTAMANTE, N.; SILVA, W. M.; SILVA, R. W.; GOMES, L. Sustentabilidade Urbana e Crescimento Acelerado em Três Lagoas (MS). **Revista Conexão Eletrônica**, Três Lagoas, MS, v. 14, n. 1, 2017.
- CARTER, J. G.; CAVAN, G.; CONNELLY, A.; GUY, S.; HANDLEY, J.; KAZMIERCZAK, A. Climate change and the city: Building capacity for urban adaptation. **Progress in Planning**. v. 95, p. 1–66. 2015.

- CERQUEIRA, A. S.; SILVA, M. H. S. A sazonalidade do conforto térmico em Três Lagoas (MS), para o ano de 2016. **Geografia**, Londrina, PR, v. 26, n. 1, p. 397–411, 2017.
- DELCOL, R. F. R.; MILANI, P. H. A Produção do Espaço Urbano em Três Lagoas – MS com base na Dinâmica Demográfica. **Geografia**, Londrina, PR, v. 31, n. 2, p. 87–106, jul. 2022.
- DORNE, J.; AUSSENAC-GILLES, N.; COMPAROT, C.; HUGUES, R.; PLANES, J. G.; SANTOS, C. T. Une approche sémantique pour représenter l’indice de végétation d’images Sentinel-2 et son évolution. *In*: SPATIAL ANALYTICS AND GEOMATICS (SAGEO 2018), 2018, Montpellier, France. **Anais [...]**. Montpellier, 2018, p. 49-54.
- FERNÁNDEZ GARCÍA, F. **Manual de climatología aplicada: clima, medio ambiente y planificación**. 1. ed. Madrid: Síntesis Editora, 1995.
- GARTLAND, L. **Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. Tradução Silvia Helena Gonçalves. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.
- GOBO, J. P. A.; BIBIANO, B. H.; GALVANI, E. Zonas Climáticas Urbanas em Cidade de Pequeno Porte. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 6, p. 2066-2079, 2019.
- KASTENDEUCH, P. P.; NAJJAR, G.; PHILIPPS, N. Îlot de sécheresse et d’humidité à Strasbourg (France). **Climatologie**, v. 16, p. 72-90, 2019.
- LOKOSHCHENKO, M. A. Urban Heat Island and Urban Dry Island in Moscow and Their Centennial Changes. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 56, p. 2729–2745. 2017.
- MARCUZO, F. F. N.; CARDOZO, M. R. D.; FARIA T. G. Chuvas no Cerrado da Região Centro-Oeste do Brasil. **Revista Ateliê Geográfico**, v. 6, n. 2, p. 112-130, 2012
- MINAKI, C.; DUBREUIL, V.; AMORIM, M. C. C. T. Microclimatic conditions in Ingá Park Maringá (Paraná, Brazil) according to air humidity parameters. **SOCIEDADE & NATUREZA (UFU, online)**, v. 34, p. 1-14, 2022.
- MEILI, N.; PASCHALIS, A.; MANOLI, G.; FATICHI, S. Diurnal and seasonal patterns of global urban dry islands. **Environmental Research Letters**, v. 17, n. 5, 2022.
- MONTEIRO, A. Est-ce qu’il y a des Raisons Suffisantes pour Parler d’un Ilot d’Humidite Urbain dans la Ville de Porto? **Publications de L’Association Internationale de Climatologie**, v. 6, p. 585-593, 1993.
- MONTEIRO, C. A. de F. **Teoria e Clima Urbano**. São Paulo: Universidade de São Paulo - Instituto de Geografia, 1976. 181 p.
- MOREIRA, J.; AMORIM, M. C. C. T.; GARCÍA, F. Análisis de la intensidad y evolución horaria de las islas de calor y seca en ambiente tropical, Brasil. **Revista de Geografia e Ordenamento do Território (GOT)**, n. 17, jun. 2019.
- NABUCET, J. Télédétection & Nature En Ville. **Les GÉOgraphics de LETG**. (LETG-Rennes), 2019. Disponível em: [https://www-ium.univ-brest.fr/wapps/geographics\\_LETG/2019/geographics\\_2019/#p=2](https://www-ium.univ-brest.fr/wapps/geographics_LETG/2019/geographics_2019/#p=2). Acesso em: 18 dez. 2022.
- OKE, T. R. Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: Comparison of scale model and field observations. **J. Climatology**, v. 1: 237-254, 1981.
- ORTIZ PORANGABA, G. F.; FRASCA TEIXEIRA, D. C.; AMORIM, M. C. C. T.; SILVA, M. H. S.; DUBREUIL, V. Modeling the urban heat island at a winter event in Três Lagoas, Brazil. **URBAN CLIMATE**, v. 37, n. 1, p. 1-13, 2021.

RANASINGLER, R.; RUANE, A. C.; VAUTARD, R.; ARNELL, N.; COPPOLA, E.; CRUZ, F. A.; DESSAI, S.; ISLAM, S.; RAHIMI, M.; RUIZ CARRASCAL, D.; SILLMANN, J.; SYLLA, M. B.; TEBALDI, C.; WANG, W.; ZAABOUL, R. Climate Change Information for Regional Impact and for Risk Assessment. *In: 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. et al. (ed.)]. Cambridge University Press.*

SANTOS, T. A.; NEVES, J. C.; MELO, A. Notas para uma crítica geográfica das ideologias: a modernidade truncada e a vertigem do progresso no município de Três Lagoas-MS. **Revista NERA**, v. 23, n. 55, p. 343-361, set. 2020.

SARAIVA, A. L. B. **O Clima Urbano de Mossoró**. 2014. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal do Espírito Santo - UFES. Vitória, 2014.

SILVA, M. H. S.; ORTIZ-PORANGABA, G. F.; FREITAS, J. C. P. Profil Thermique Nocturne a Três Lagoas - MS (BRÉSIL). *In: COLLOQUE DE L'ASSOCIATION INTERNATIONALE DE CLIMATOLOGIE*. 33, 2020. Rennes. **Actes [...]**. Rennes, 2020. p. 631-636.

SILVA, M. H. S.; ZANON, L. F.; LUIZ, L. F.; CARREGA, M. A. L. T.; EUGÊNIO, T. N. O. B. Análise dos Aspectos Biogeográficos da Área de Proteção Ambiental do Jupia, em Três Lagoas, MS. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros – Seção Três Lagoas/MS**, n. 27, mai. 2018.

TORRES, F. T. P.; RIBEIRO, G. A.; MARTINS, S. V.; LIMA, G. S. Correlações entre os Elementos Meteorológicos e as ocorrências de Incêndios Florestais na Área Urbana de Juiz de Fora, MG. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 35, n. 1, p. 143-150, 2011.

# **INVESTIGAÇÃO SOBRE A FORMAÇÃO DE ILHA DE CALOR NA CIDADE DE JACAREÍ, REGIÃO METROPOLITANA DO VALE DO PARAÍBA E LITORAL NORTE, SÃO PAULO, BRASIL**

*Andrea Cavicchioli  
Vincent Dubreuil*

## **INTRODUÇÃO**

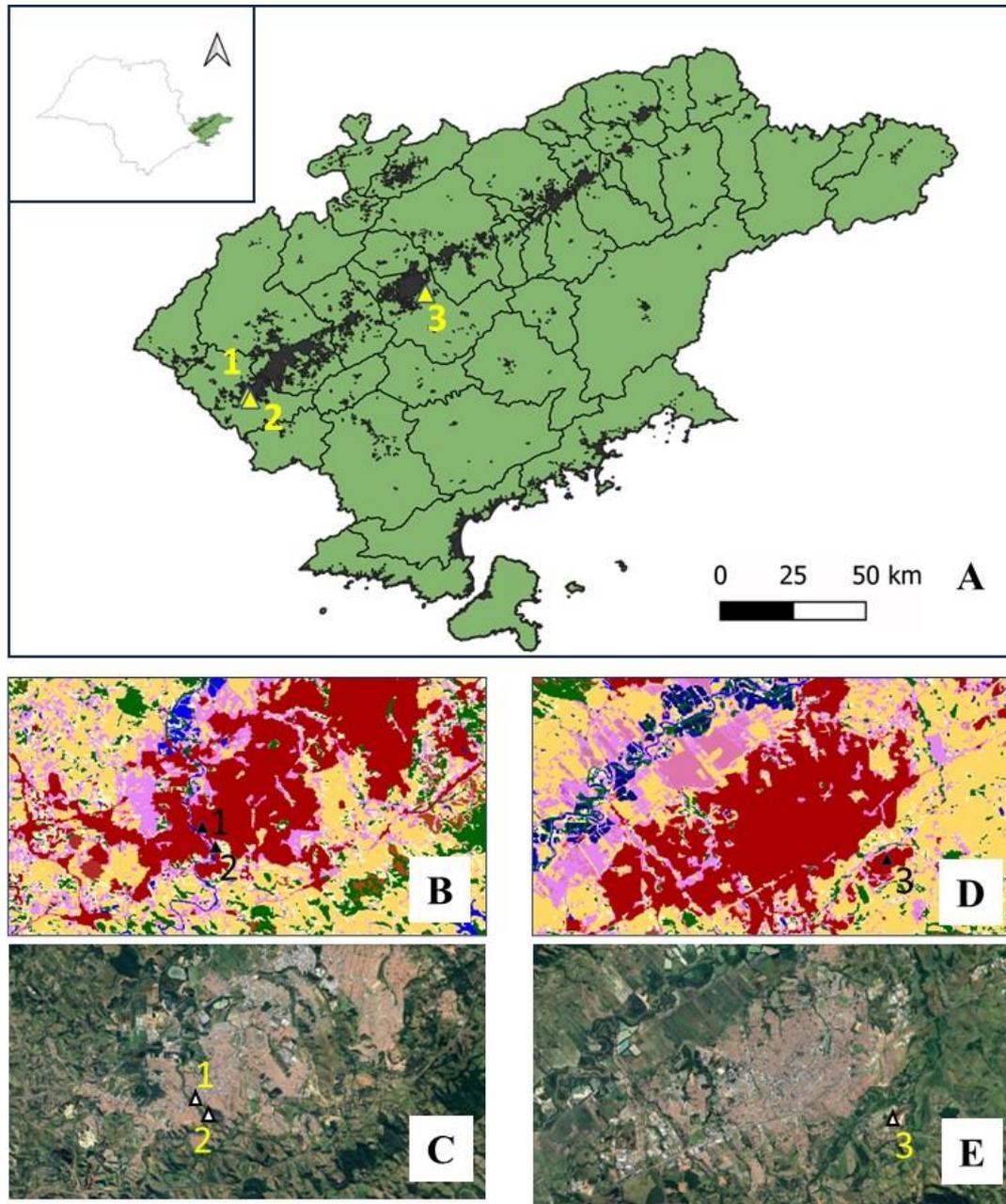
Hoje, cerca de 85% da população brasileira vive em áreas urbanizadas (IBGE, 2017), territórios de alta densidade e atividades humanas muitas vezes desordenadas e, conseqüentemente, sujeitos a fortes alterações ambientais, entre as quais a formação de ilhas de calor. Este fenômeno já é objeto de muitos estudos (Bryson, Ross, 1972; Monteiro, 1976; Landsberg, 1981; Lombardo, 1985) que a partir da década de 1990 passaram a incluir os efeitos atuais e principalmente futuros das mudanças climáticas (Voogt, 2002; Ribeiro, 2008; Corburn, 2009; Revi *et al.*, 2014).

Porém, se estudos em grandes metrópoles são frequentes, há relativamente poucas pesquisas sobre cidades brasileiras de médio porte (100.000 a 500.000 habitantes), apesar do crescimento significativo das contribuições nesta área ao longo dos últimos anos (Mendonça, 1995; Amorim *et al.* 2009; Cardoso *et al.* 2017; Teixeira, Amorim, 2018). Esses estudos mostram que cidades pequenas e médias também desenvolvem climas urbanos específicos (Teixeira e Amorim, 2018) e que não estão isentas do mesmo tipo de degradação da qualidade do meio ambiente destacada de forma bastante expressiva para as grandes metrópoles e megalópoles (Mendonça, 2003). Além disso, a exacerbação na piora da qualidade de vida nas grandes megalópoles pode impulsionar movimentos populacionais para cidades de porte menor, potencializando, assim, crises ambientais nesses espaços (Mello; Iwama; Teixeira, 2012). Por outro lado, as cidades de tamanho médio têm a vantagem de permitir planejamento mais eficaz e, portanto, potencial para uma intervenção mais incisiva para mitigar os impactos decorrentes da degradação ambiental (Mendonça, 2003), muito embora Mello-Théry, Cavicchioli e Caldas (2021) destaquem que esse potencial é frequentemente desperdiçado e frustrado, na prática.

Em particular, o presente trabalho - parte de um projeto de cooperação franco-brasileira iniciado em 2019 – foca na Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte

(RMVPLN), localizada no estado de São Paulo (Brasil) ao longo do eixo rodoviário São Paulo-Rio de Janeiro (Figura 1).

**Figura 1** - Mapas da região de estudo.



**A:** Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte (RMVPLN) com destaque para a mancha urbana (em cor preta, Souza *et al.*, 2020) e os pontos (1-3) de coleta dos dados de temperatura e umidade relativa (no quadro à esquerda, estado de São Paulo e localização da RMVPLN; **B-C:** detalhe do município de Jacareí (mancha urbana em cor vermelha) com a respectiva fotografia aérea tirada a uma distância de 6.000 m da superfície o dia 23/5/2023 (Google Earth); **D-E:** detalhe do município de Taubaté (mancha urbana em cor vermelha) com a respectiva fotografia aérea tirada a uma distância de 6.000 m da superfície no dia 25/5/2023 (Google Earth).

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Criada formalmente em 09/01/2012 pela Lei Complementar 1.166/2012, essa realidade administrativa existe na prática desde o ano de 1987 como Região Administrativa de São José dos Campos, estabelecida pelo Decreto nº 26.581, de janeiro de 1987 (Mello; Iwama; Teixeira, 2012). Trata-se de um território sujeito, há pelo menos setenta anos, a uma forte dinâmica de crescimento demográfico e de desenvolvimento econômico numa trajetória em que a inauguração da rodovia Presidente Dutra (1951) foi inequivocamente um marco fundamental, mas que teve início com planejamentos públicos e privados surgidos já nos anos de 1930 (Tavares, 2017; Mello-Théry; Cavicchioli; Caldas, 2021). Esse processo levou os 39 municípios da atual RMVPLN a agregar uma população de 2.599.218 habitantes (IBGE, 2022) e a atingir um nível de produção de riqueza que faz com que seu PIB de 124 bilhões (Seade, 2018 – em reais de 2023) responda por cerca de 5% do total estadual (Mello-Théry; Cavicchioli; Caldas 2021), com atividades econômicas que vão das indústrias automobilística, aeronáutica, aeroespacial e bélica a atividades turísticas, portuárias e petroleiras, essas predominantemente concentradas no Litoral Norte (Mello; Iwama; Teixeira, 2012). Notadamente, mais da metade da produção da RMVPLN cabe aos municípios de Jacareí, São José dos Campos e Taubaté os quais apresentam o maior valor adicionado na indústria e nos serviços (Firoozmand; Souza; Costa, 2020). Salienta-se, também, que os maciços esforços realizados visando fortalecer a exploração do petróleo e do gás natural no Polo Pré-Sal implicarão fortes investimentos de recursos financeiros por parte dos governos federal e estadual, estimados por Mello, Iwama e Teixeira (2012) em 140 bilhões de reais ao longo da década de 2010, os quais certamente estão impulsionando uma taxa de crescimento particularmente expressiva.

Os impactos ambientais são evidentemente inevitáveis, conforme bem destacado por Devide (2013) e por Mello, Iwama e Teixeira (2012, p. 20-21), de quem cabe aqui citar o seguinte trecho:

o conjunto de municípios agrupados sob a designação de Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte apresentam [sic] uma vasta extensão de significativas diferenças e desigualdades locais e regionais que, conseqüentemente, criam um enorme conjunto de problemas e questões que definitivamente irão gerar impactos – não necessariamente positivos – sobre a qualidade de vida de suas populações tanto no curto prazo quanto no médio e longo prazo. [...] Todos os processos atualmente em desenvolvimento irão modificar completamente as paisagens econômicas, sociais e ambientais da região ao longo dos próximos anos. Espera-se que o processo de urbanização irá rapidamente aumentar de intensidade e, se as características usuais do processo de urbanização brasileiro – quase sempre baseado na exclusão econômica e social bem como na degradação ambiental – forem mantidos como seu paradigma, é bem possível que os efeitos tendam a ser extremamente negativos e danosos.

Ora, se esses autores atraem a atenção para a questão da manutenção e conservação dos recursos hídricos e da biodiversidade que estão entre as principais riquezas do patrimônio natural da região, outros estudos também salientam o forte processo de urbanização e evidenciam suas relações com a perturbação dos microclimas locais. Já em 1977, Tarifa (1977) apresentava um estudo preliminar sobre São José dos Campos que, no ambiente urbano, acusava “uma nítida influência na variação diurna da temperatura e da umidade, em relação à área rural”, concluindo que maiores investigações devem poder “se constituir em subsídios importantes para o planejamento agrícola e urbano” (Tarifa, 1977, p. 77). Mais recentemente, São José dos Campos e Taubaté também foram objeto de estudo sobre a formação de ilhas de calor por meio de dados de sensoriamento remoto (Andrade *et al.*, 2007; Alexandrino, 2017) que evidenciaram marcantes diferenças térmicas das superfícies entre meio urbano e meio rural (ou, melhor, entre superfícies típicas do meio urbano e do meio rural). Barduco e Galvani (2022) utilizam o método de transectos móveis para caracterizar a ilha de calor urbana em Taubaté, mostrando que o fenômeno tende a ser mais intenso nos horários noturnos e de madrugada.

A pesquisa a que se refere esse trabalho abordou o microclima no centro da cidade de Jacareí e foi realizada por meio de coleta direta de dados de temperatura e umidade relativa pelo período de um ano. Esses valores foram comparados com séries completas recolhidas diretamente (ou obtidos de estações meteorológicas oficiais) em dois pontos periurbanos nas cidades de Jacareí e Taubaté.

A região metropolitana é caracterizada por um clima subtropical úmido [Cwa – Köppen] (Dutra, Randow, 2017), com temperatura média anual situada entre 19 e 21 °C que, de acordo com um estudo recente (Ynoue, 2014), poderia subir em até 3 °C num cenário de estabilização das emissões de gases de efeito estufa (A1B). Essa projeção está parcialmente confirmada nos dados de Dutra e Randow (2017) que atestam para a cidade de Taubaté um claro aumento nas temperaturas mínimas no período de 1993 a 2005.

## **MÉTODOS DE PESQUISA**

### **O MUNICÍPIO DE JACAREÍ**

O município de Jacareí (Figura 1-B e D) está localizado nas coordenadas 23°18'S e 45°58'W. Seu território (464,272 km<sup>2</sup>), centrado na bacia do rio Paraíba do Sul, é distribuído entre morros e colinas nas encostas da Serra da Mantiqueira e da Serra do Mar (com altitudes de até 730 m) e as várzeas do rio Paraíba do Sul (cerca de 550-570 m), nas quais se encontra a maior parte da área mais urbanizada do município (50,33 km<sup>2</sup>).

O município apresenta uma população de 240.275 pessoas e uma densidade populacional de 517,53 pessoas/km<sup>2</sup> (IBGE, 2022). Sua maior parte (98,6%, segundo a projeção SEADE, 2023a) vive na porção urbana da cidade, embora isso não corresponda, necessariamente, a habitações localizadas em zonas com elevada densidade de construção. A Fundação SEADE (2023b) calcula que, no período de 2010 a 2022, a cidade tenha mantido uma taxa anual de crescimento populacional de 1,08%. Isso se reflete claramente numa expressiva taxa de urbanização. Dutra e Randow (2017) estimam que Jacareí teve um crescimento em sua urbanização na ordem de 284% desde 1975 até 2016.

É significativo que tal crescimento esteja evoluindo de maneira muito clara em direção nordeste, caracterizando-se num fenômeno de conurbação com a cidade de São José dos Campos, em decorrência dos efeitos da forte interdependência social e econômica que se estabeleceu entre os dois municípios. Esse processo deverá em breve resultar na formação de uma única grande mancha urbana onde os vários conflitos e as crises ambientais poderão se exacerbar.

Conforme já mencionado, o clima local é caracterizado por verões quentes e chuvosos, e invernos secos. No caso específico de Jacareí, a temperatura anual média é de 21,3 °C e essa deverá, como o resto da região, se elevar nas próximas décadas sob o efeito das mudanças dos padrões climáticos, como fora exposto. Além disso, já há indícios da ocorrência de alterações no tocante ao regime de precipitações chuvosas, com uma redução no número de dias de chuva acompanhada por um aumento na quantidade de precipitação (Dutra; Randow, 2017).

## **COLETA E TRATAMENTO DOS DADOS**

Os dados utilizados para esse estudo (temperatura, T, e umidade relativa, UR) são de dois tipos: um conjunto obtido diretamente mediante dataloggers instalados em duas estações de monitoramento em Jacareí e aqueles recuperados de uma estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). A localização dos três pontos de coleta é indicada na Figura 1, enquanto os detalhes estão resumidos no Quadro 1. A coleta direta de dados foi efetuada utilizando medidores automáticos modelo U10-003 (Onset, USA) que apresentam uma margem de erro de 0,5 °C e 3,5%, respectivamente. Tais sensores foram instalados em abrigos meteorológicos convencionais montados a uma altura de 2 metros do solo.

As medidas realizadas no ponto 1 são consideradas típicas da área urbana central de Jacareí uma vez que o Museu de Antropologia está localizado a menos de 1 km em linha reta do marco zero da cidade, na praça Conde Frontin. Além disso, a Figura 1B mostra claramente

que esse ponto se encontra numa zona urbana com reduzida cobertura vegetal, conforme evidenciado pela categoria de uso do solo utilizada no mapa. O ponto 2 (distância de 0,8 km em linha reta do ponto 1) fica no interior do Viveiro Municipal de Jacareí que é um setor de 600 mil m<sup>2</sup> de cobertura vegetal na zona periurbana da cidade (Figura 1- B e C). Na ausência de ponto de monitoramento de T e UR com séries para o período de interesse representativas do meio rural, optou-se por utilizar os dados da estação meteorológica instalada no aeroporto de Taubaté (a uma distância de 55 km do ponto 1), em posição razoavelmente afastada da mancha urbana da cidade (Figura 1D-E).

**Quadro 1** - Informações sobre os pontos de coleta dos dados de T e UR e sobre as séries de medidas utilizadas nesse trabalho.

Ponto <sup>1</sup>	Coordenadas <sup>2</sup> e altitude	Fonte dos dados	Detalhes do local
1	-23.30639, -45.97275 (565 m)	Sensor Onset U10-003	Pátio dos fundos do Museu de Antropologia de Jacareí
2	-23.31474, -45.96724 (576 m)	Sensor Onset U10-003	Área aberta no interior do Viveiro Municipal de Jacareí
3	-23.04, -45.52 (572 m)	Estação INMET	Aeroporto de Taubaté

<sup>1</sup>Sequência dos pontos mostrados na Figura 1.

<sup>2</sup>Graus e decimais de grau no sistema de referência datum WGS84 (as coordenadas da estação do INMET foram fornecidas pelo próprio instituto que gerou os dados). Os dados se referem ao período de 21/6/2019 a 20/6/2020.

Fonte: Informações organizadas pelos autores, 2023.

Para as figuras 1B e 1D, usou-se uma base cartográfica de cobertura e uso do solo gerada no âmbito do projeto MapBiomas de 2021, disponível em <https://mapbiomas.org/> (Souza *et al.*, 2020). Para as figuras 1C e 1E, utilizaram-se as imagens aéreas disponibilizadas pelo Google Earth (AirbusMaxar Technologies) correspondentes a uma distância de 6.000 m da superfície.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 mostra a síntese dos dados de T registrados nas três estações de coleta de dados. É evidente que o centro de Jacareí apresenta sempre os maiores valores médios tanto na escala anual quanto nas duas estações extremas, inverno e verão. As maiores diferenças são observadas com relação ao ponto periurbano em Jacareí, em correspondência ao Viveiro Municipal. Já, as discrepâncias com o ponto na periferia de Taubaté, ainda que todas negativas, são reduzidas, comparativamente falando. O centro de Jacareí desponta no tocante às médias das temperaturas máximas, mas as distâncias entre as temperaturas mínimas – apesar de menos marcantes – também são evidentes na escala anual e nas estações extremas. O fato que os pontos

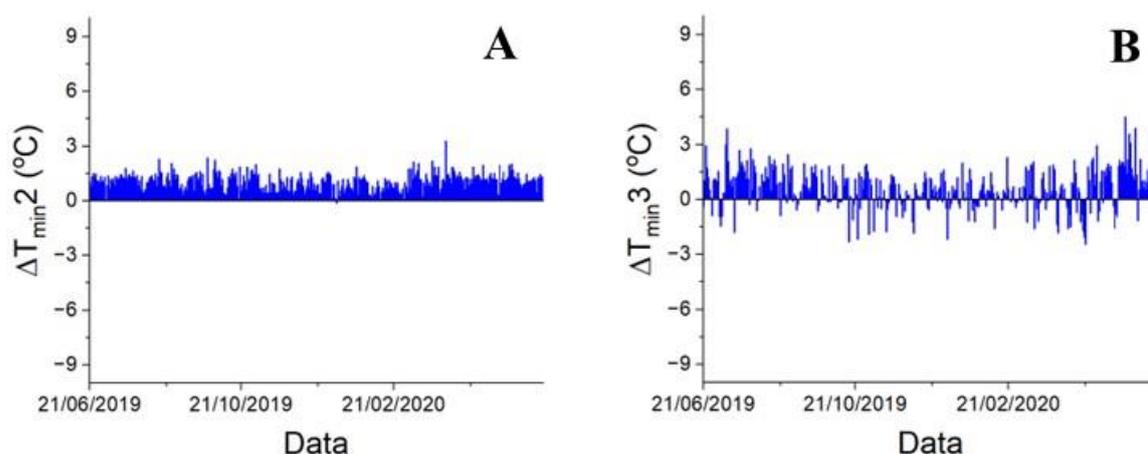
1 e 3 (distantes 55 km) apresentem valores mais parecidos comparativamente aos pontos 1 e 2 (distantes menos de 1 km) antecipa claramente o papel fundamental do uso do solo.

**Tabela 1** - Síntese dos dados de temperatura (em °C) nos três pontos de monitoramento (em negrito os valores máximos de cada coluna).

Ponto	Anual			Inverno			Verão		
	Média	Máx	Mín	Média	Máx	Mín	Média	Máx	Mín
1	21,4	<b>28,7</b>	<b>16,7</b>	18,7	<b>26,9</b>	<b>13,4</b>	24,1	<b>30,9</b>	<b>19,9</b>
2	20,0	26,4	15,6	17,2	24,2	12,3	22,7	28,6	19,0
3	20,7	27,1	16,1	18,1	25,5	12,5	23,2	28,9	19,6

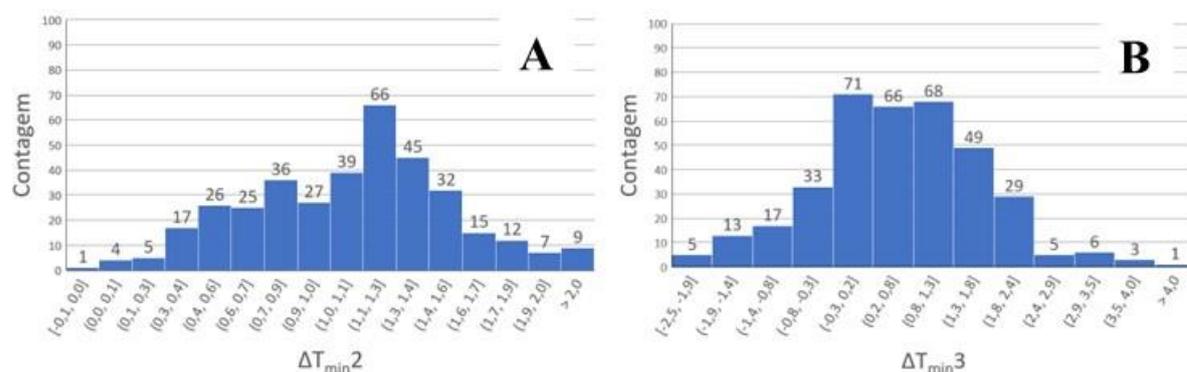
Fonte: Dados elaborados pelos autores, 2023.

**Figura 2** - Diferenças diárias entre os valores mínimos de temperatura do ponto 1 (centro da cidade de Jacareí) e os valores mínimos registrados: no ponto 2 (área periurbana de Jacareí,  $\Delta T_{\min 2}$ , A) e no ponto 3 (área periurbana de Taubaté,  $\Delta T_{\min 3}$ , B). Período de 21/6/2019 a 20/6/2020.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

**Figura 3** - Histogramas indicando as frequências de ocorrência dos valores de  $\Delta T_{\min 2}$  (A) e  $\Delta T_{\min 3}$  (B) no período monitorado.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

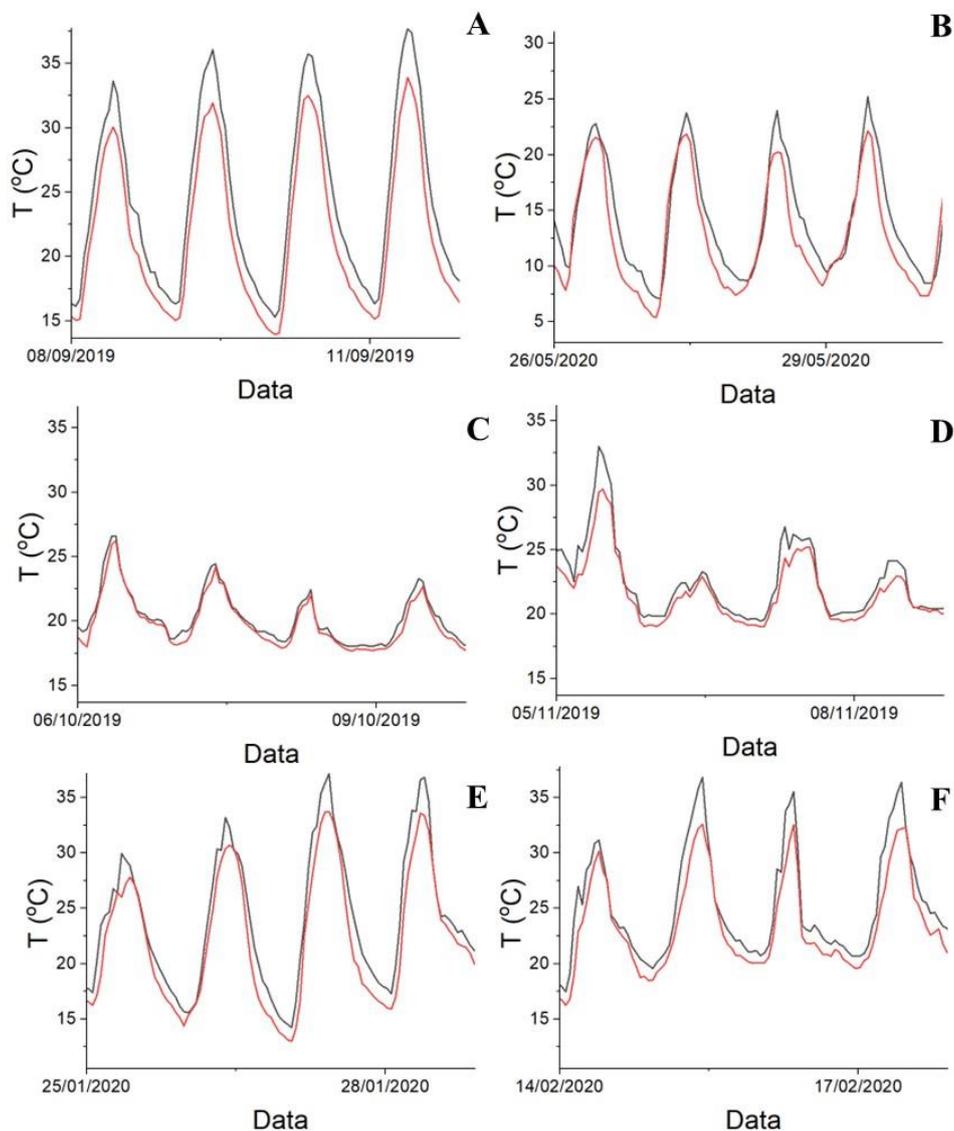
Ora, para além de um olhar médio, interessa considerar em maior detalhe o andamento das diferenças diárias entre o centro da cidade de Jacareí e os outros pontos escolhidos para a comparação com foco nas temperaturas mínimas ( $\Delta T_{\min 2}$  e  $\Delta T_{\min 3}$ ), numa abordagem adotada comumente na avaliação dos fenômenos de ilha de calor urbana (Figura 2). Esse procedimento se justifica pela ausência, no período noturno, quando via de regra são registradas as temperaturas mínimas, de interferências associadas com o maior ou menor aquecimento do ar no interior dos abrigos dos sensores em função de seu formato, material de construção e posicionamento com relação à incidência da radiação solar.

No caso do Viveiro Municipal de Jacareí ( $\Delta T_{\min 2}$ , Figura 2A) se observa que todos os valores foram positivos e, portanto, em todos os dias do ano o parque periurbano registrou mínimas mais amenas do que o centro da cidade. A moda (Figura 3A) foi de 1,2 °C, com 62% dos dias do ano apresentando  $\Delta T_{\min 2} \geq 1,0$  °C. As maiores diferenças de temperatura se colocaram no intervalo  $2,0$  °C  $\leq \Delta T_{\min 2} \leq 3,3$  °C, com 13 ocorrências. O maior valor foi registrado no dia 3/4/2020: conforme esse dado sinaliza, a maior frequência de valores mais elevados de  $\Delta T_{\min 2}$  não se deu na estação mais quente, uma vez que entre os 20% dos maiores valores de  $\Delta T_{\min 2}$  (76 valores) houve somente 12 ocorrências no verão.

Esse resultado salienta que há um benefício particular no microclima do viveiro municipal no sentido de proporcionar condições de maior frescor com relação à região de maior urbanização. Os detalhes selecionados na Figura 4 mostram, para algumas sequências de dias, o comportamento mais comum em três condições. Os gráficos A e B da Figura 4 correspondem a dias de estabilidade meteorológica na estação seca (setembro e maio) e mostram claramente que a menor mínima noturna (geralmente entre 2h e 6h) é decorrência de uma maior taxa de resfriamento que se mantém ou, em algumas ocasiões, se torna mais intensa depois das 19h.

A partir do pôr do sol, aumenta a discrepância com relação à temperatura do centro urbano e, em decorrência disso, o horário de  $T_{\min}$  no ponto 2 resulta antecipado em 1-2h frente ao ponto 1. Esse fato indica uma maior capacidade de dissipação de calor acumulado por parte da área arborizada, quando comparada com a região construída, nessa época do ano. O mesmo efeito é observado em dias ensolarados do verão (Figura 4 – E e F, janeiro e fevereiro), mas com menor intensidade conforme se depreende dos resultados referentes às frequências sazonais das maiores  $\Delta T_{\min 2}$  mencionados acima. Já, em dias de condições meteorológicas mais instáveis (Figura 4 - C [outubro] e D [novembro]) as  $T_{\min}$  nos pontos no centro da cidade e no parque periurbano assumem valores quase coincidentes.

**Figura 4** - Exemplos de flutuações diárias de temperatura registradas no ponto 1 (linha preta) e no ponto 2 (linhas vermelhas) em diferentes períodos do ano: inverno com condições meteorológicas estáveis (**A** e **B**), primavera com condições meteorológicas instáveis (**C** e **D**) e verão em dias ensolarados (**E** e **F**).



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Uma análise das diferenças de temperatura entre o centro de Jacareí e a região extraurbana de Taubaté ( $\Delta T_{\min 3}$ ), escolhida por ser a estação não urbana mais próxima na mesma altitude, pode ser feita a partir da Figura 2B. Nesse caso, é possível distinguir claramente entre a estação seca e a úmida, pois claramente as maiores  $\Delta T_{\min 3}$  ocorrem no primeiro bloco de medidas entre junho e meados de outubro e no conjunto entre maio e junho. A moda ( $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) é nitidamente mais baixa do que  $\Delta T_{\min 2}$  e, nesse caso, somente 36% dos dias apresentou  $\Delta T_{\min 3} \geq 1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  (quase a metade dos dias do viveiro municipal). Contudo, as maiores diferenças de

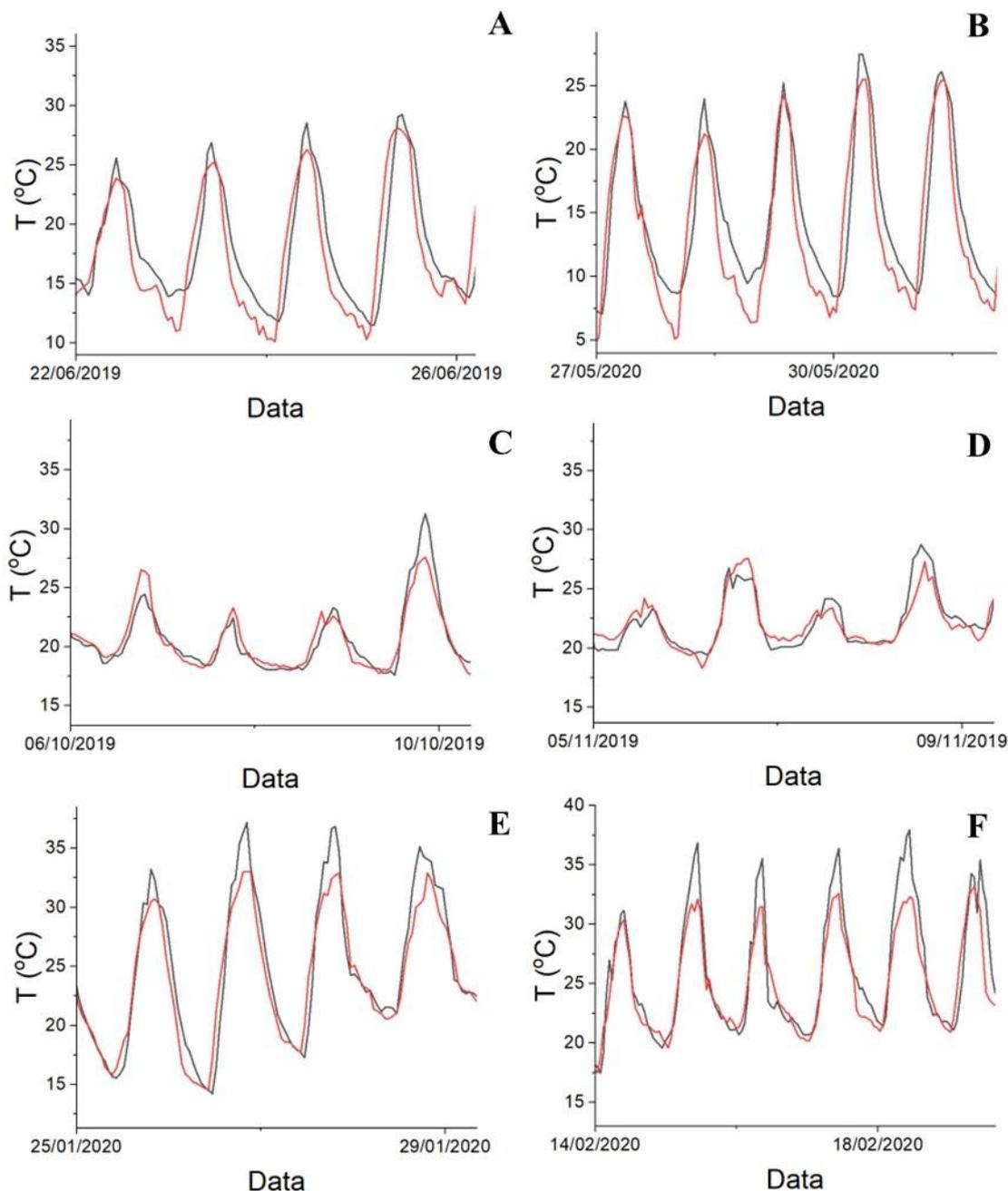
temperatura se colocaram num intervalo que atinge valores mais altos ( $2,0\text{ }^{\circ}\text{C} \leq \Delta T_{\min 3} \leq 4,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) e com um número maior de ocorrências (34).

O maior valor foi registrado no dia 25 de maio de 2020, ou seja, no outono, como no caso do  $\Delta T_{\min 2}$ . Os  $\Delta T_{\min 3}$  negativos (99 dias do ano) estão concentrados no verão e são a consequência, ao menos em parte, da distância entre as duas estações de monitoramento e de variações locais nas condições meteorológicas. Fica assim claro que, para uma caracterização mais precisa do fenômeno de ilha de calor urbano em Jacareí será necessário, futuramente, realizar uma coleta de dados de temperatura numa região rural mais próxima àquela cidade.

Os gráficos da Figura 5 (A e F) mostram que, assim como na área do parque periurbano de Jacareí, na região extraurbana de Taubaté, o resfriamento noturno na estação seca é mais acelerado e determina o predomínio de mínimas noturnas menores do que no centro de Jacareí. Da mesma forma, assinala-se uma semelhança de comportamento nos dias de instabilidade meteorológica. Entretanto, as tendências no verão são distintas daquelas observadas na Figura 4 (E e F), indicando que, nessa estação, e em dias ensolarados, o processo de perda de calor acumulado é menos eficiente do que no parque de Jacareí (fato que também contribui para a ocorrência de  $\Delta T_{\min 3}$  negativos). É possível que a umidade do ar, mais elevada nessa época do ano, anule o efeito associado com uma cobertura do solo menos favorável à retenção térmica. É verdade que, no parque periurbano em Jacareí, também há incremento na umidade. Mas, claramente naquele espaço, o resfriamento ligado a processos de evapotranspiração permitem mínimas noturnas ainda mais baixas. De qualquer forma, é possível que a circulação do ar (maior na área extraurbana de Taubaté e menor na cidade de Jacareí) desempenhe um papel no comportamento observado.

Finalmente, uma consideração sobre os valores de umidade relativa registrados ao longo do período de monitoramento e, em especial, as diferenças  $\Delta UR_{\min}$  mostradas na Figura 6. É evidente que, nos horários de maior intensidade térmica, esse parâmetro tende a assumir, no centro de Jacareí, valores mais baixos do que nos outros dois pontos de monitoramento, fato que oferece a oportunidade para enfatizar que ilhas de calor são geralmente também ilhas de secura. Cabe aqui destacar a importância da umidade relativa na qualidade do ar e o papel que essa propriedade desempenha na exacerbação dos danos para a saúde humana e na piora da qualidade de vida das pessoas, se somando aos efeitos associados com o aumento da temperatura.

**Figura 5** - Exemplos de flutuações diárias de temperatura registradas no ponto 1 (linha preta) e no ponto 3 (linhas vermelhas) em diferentes períodos do ano: inverno com condições meteorológicas estáveis (**A** e **B**), primavera com condições meteorológicas instáveis (**C** e **D**) e verão em dias ensolarados (**E** e **F**).

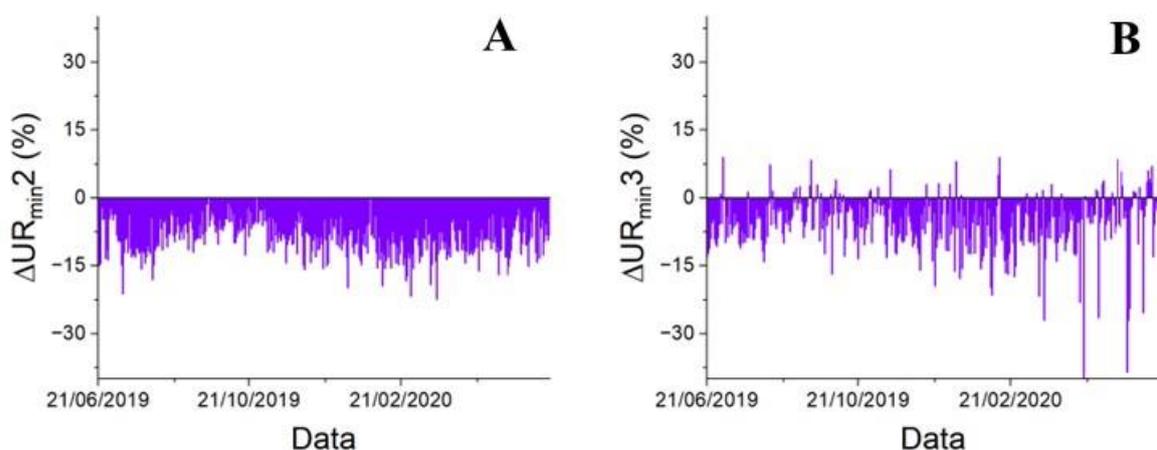


Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Mais uma vez, desponta positivamente o Viveiro Municipal, onde  $UR_{\min}$  em função da sistematicidade da ocorrência de valores mais elevados do que no centro da cidade: por exemplo, nos 184 dias em que a  $UR_{\min}$  no centro de Jacareí atingiu valores  $<40\%$ , o Viveiro Municipal registrou valores  $<40\%$  somente em 64 dias. Considerando o mesmo conjunto de dias, a  $\Delta UR_{\min}$  média foi mais elevada em 8,9 unidades percentuais.

A comparação com o ponto 3 (Figura 6B) confirma a tendência de um microclima urbano mais seco, inclusive com alguns episódios particularmente discrepantes em que  $\Delta UR_{\min 3}$  ultrapassou 30 unidades percentuais no final do período de monitoramento.

**Figura 6** - Diferenças diárias entre os valores mínimos de umidade relativa do ponto 1 (centro da cidade de Jacareí), ponto 2 (área periurbana de Jacareí,  $\Delta UR_{\min 2}$ , **A**) e o ponto 3 (área periurbana de Taubaté,  $\Delta UR_{\min 3}$ , **B**). Período de 21/6/2019 a 20/6/2020.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

## CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

Os dados coletados nesse trabalho mostram que a temperatura no centro da cidade de Jacareí tende a ser mais elevada do que no ponto extraurbano de Taubaté, apesar da distância entre as duas estações. Esse cenário foi evidenciado em termos de diferença em  $T_{\min}$  diárias, devendo certamente abranger também as  $T_{\max}$ , ainda que essas não tenham sido levadas em consideração pelos motivos expostos. Caracteriza-se, assim, um processo de formação de ilha de calor urbana numa forma que poderia ser definida embrionária, mas que já vem associada a uma redução bastante sistemática na umidade relativa mínima como fator complementar de piora na qualidade do ar. Embora as  $\Delta T$  não sejam ainda tão expressivas como nos casos das ilhas de calor urbanas das grandes metrópoles, é importante interpretar tal resultado à luz do forte crescimento urbano em andamento na região e buscar projetar sua evolução em vista do processo de conurbação, já muito evidente entre Jacareí e a vizinha São José dos Campos.

Tais aspectos deveriam ser levados em consideração na avaliação das consequências desse fenômeno na vida da comunidade urbana. Nessa perspectiva, foi importante evidenciar que o Viveiro Municipal de Jacareí, com sua ampla cobertura vegetal, atua como ilha de frescor e garante sistematicamente temperaturas menores que o centro da cidade (a menos de 1 km de

distância) em todos os dias do ano. Essa observação, juntamente com a constatação do fato que essa área apresenta valores de  $UR_{min}$  regularmente mais elevadas deveria sensibilizar o poder público quanto à importância desse recurso como instrumento de mitigação.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às senhoras Selma Fernandes e Patrícia Cruz da Fundação Cultural de Jacarehy; à Prefeitura de Jacareí; e ao programa CAPES/COFECUB - processo: 88881.191765/2018-01; Sh 941/19 – projeto: CiCIAMEn (Cidades, Clima e Vegetação: Modelagem e Políticas Públicas Ambientais), pelo apoio financeiro.

## REFERÊNCIAS

- ALEXANDRINO, F. I. G. **Ilhas de calor e casos de dengue na área urbana de Taubaté, SP**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2017.
- AMORIM, M. C. C. T. *et al.* Características das ilhas de calor em cidades de porte médio: exemplos de Presidente Prudente (Brasil) e Rennes (França). **Confins**, v. 7, p. 1-16, 2009.
- ANDRADE, L. L. *et al.* Estudo de ilhas de calor na cidade de São José dos Campos utilizando o canal infravermelho termal do Landsat-5 e o aerotransportado HSS. *In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. Anais [...]*. Florianópolis: INPE, 2007. p. 473-480.
- BARDUCO G. L.; GALVANI, E. Avaliação da ocorrência do fenômeno de ilha de calor na área urbana do município de Taubaté, SP. **Revista do Departamento de Geografia - Universidade de São Paulo**, v. 42, p. 1-12, 2022.
- BRYSON R. A., ROSS J. E. **The climate of the city**. Urbanization and environment. Belmont: Duxbury Press, 1972.
- CARDOSO, R. S.; DORIGON, L. P.; TEIXEIRA, D. C. F.; AMORIM, M. C. C. T. Assessment of urban heat islands in small-and mid-sized cities in Brazil. **Climate**, v. 5, p. 4-26, 2017.
- CORBURN J. Cities, Climate Change and Urban Heat Island Mitigation: Localising Global Environment Science. **Urban Studies**, v. 46, p. 413-427, 2009.
- DEVIDE A. C. P. **História ambiental do Vale do Paraíba**. Revisão de literatura para qualificação (Doutorado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.
- DUTRA, A. M.; RANDOW, C. **Análise do efeito da urbanização no regime de chuvas na cidade de Jacareí**. Relatório final (Projeto de iniciação científica) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2017.
- FIROOZMAND, L. A. T.; SOUZA, S. M. F.; COSTA, A. A. M. Dinâmica e organização do espaço urbano na RMVPLN: uma leitura a partir do setor terciário. *In: VII COLÓQUIO INTERNACIONAL SOBRE COMÉRCIO E CIDADE. Anais [...]*. Fortaleza: Blucher Engineering Proceedings, 2020, p. 358-371.
- IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Perfil dos municípios brasileiros**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017.

- IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2022. **Censo Brasileiro de 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.
- LANDSBERG M. E. **The urban climate**. New York: Academia Press, 1981.
- LOMBARDO M. **Ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo**. São Paulo: Hucitec, 1985.
- MELLO, L. F.; IWAMA, A. Y.; TEIXEIRA, L. População e desenvolvimento na Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte de São Paulo: desafios atuais e futuros. *In: XVIII ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS POPULACIONAIS. Anais [...]*. Águas de Lindóia: ABEP, 2012.
- MELLO-THÉRY, N.; CAVICCHIOLI, A.; CALDAS, E. L. Iniciativas e ações públicas para mitigação da ilha de calor urbana em cidades médias: o caso de Jacareí-SP. **Espaço e Economia**, v. 21, p. 1-15. 2021.
- MENDONÇA, F. A. **O clima e o planejamento urbano de cidades de porte médio e pequeno**. Proposição metodológica para estudo e sua aplicação à cidade de Londrina/PR. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.
- MENDONÇA, F. Clima e planejamento urbano em Londrina-Proposição metodológica e de intervenção urbana a partir do estudo do campo térmico. *In: MONTEIRO, C. A. F.; MENDONÇA, F. (org.). Clima Urbano*. São Paulo: Editora Contexto, 2003, p. 93-120.
- MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e Clima Urbano**. São Paulo: IGEOG/USP, 1976.
- REVI A. *et al.* Urban areas. *In: FIELD, C. B. et al. (org.). Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. New York: Cambridge University Press, 2014, p. 535-612.
- RIBEIRO, W. C. Impactos das mudanças climáticas em cidades no Brasil. **Parcerias Estratégicas**, v. 13, p. 297-321, 2008.
- SEADE - Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados. **Banco de Dados de Informações dos Municípios Paulistas**. São Paulo: SEADE, 2018. Disponível em: <http://perfil.seade.gov.br/>. Acesso em 25 agosto de 2023.
- SEADE-Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados. **SEADE População**. São Paulo: SEADE, 2023a. Disponível em: <https://populacao.seade.gov.br/>. Acesso em 25 agosto de 2023.
- SEADE-Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados. **SEADE Censo 2022**. São Paulo: SEADE, 2023b. Disponível em: <https://populacao.seade.gov.br/>. Acesso em 25 agosto de 2023.
- SOUZA, C. M. *et al.* Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine. **Remote Sensing**, v. 12, p. 2735-2755, 2020.
- TARIFA, J. R. Análise comparativa da temperatura e umidade na área urbana e rural de São José dos Campos (SP) – Brasil. **Geografia**, v. 2, p. 59-80, 1977.
- TAVARES, J. C. Planejamento regional no Estado de São Paulo: polos, eixos e a região dos vetores produtivos. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos Regionais**, v. 20, p. 344-367, 2017.
- TEIXEIRA, D. C. F.; AMORIM, M. C. C. T. O estudo da ilha de calor em cidade de pequeno porte: algumas contribuições. **Sociedade & Natureza**, v. 30, p. 186-209, 2018.

VOOGT, J. A. Urban Heat Islands: Causes and consequences of global environmental change. **Encyclopedia of Global Environmental Change**, v. 3, p. 660-666, 2002.

YNOUE, R. Y. **Relatório Final do Projeto FAPESP-CONDEPHAAT** “Patrimônio cultural do Vale Histórico Paulista: análise da vulnerabilidade às mudanças climáticas”, comunicação pessoal. 2014.

## **FREQUÊNCIA E INTENSIDADE DE ILHAS DE CALOR URBANO EM INDAIATUBA (SÃO PAULO)**

*Larissa Vieira Zezzo  
Priscila Pereira Coltri  
Vincent Dubreuil*

### **INTRODUÇÃO**

A maioria da população mundial vive em centros urbanos de médio porte, seguidos por megacidades e grandes centros (Gaete, 2015), que também costumam ser áreas em desenvolvimento econômico e, portanto, apresentam problemas ambientais e climáticos. As mudanças no uso do solo são muitas vezes determinadas por questões econômicas (Wright e Wimberly, 2013), que são induzidas pela globalização em escala mundial (Meyfroidt *et al.*, 2013). Da mesma forma, as mudanças na cobertura do solo tendem a ocorrer em resposta ao crescimento populacional, à demanda por novos assentamentos e áreas produtivas, ocasionando a perda de terras naturais e alterando as características climáticas de determinados locais.

Como consequência das alterações no uso do solo, as ilhas de calor urbano (ICUs) surgem como um fenômeno climático que pode afetar a segurança, a saúde, o conforto e o bem-estar da população (D'Ippoliti *et al.*, 2010; McKenzie, 2015; Smargiassi *et al.*, 2009). Adicionalmente, com as mudanças do clima e a urbanização intensa (Grimmond, 2007; Klein *et al.*, 2014; Seto *et al.*, 2011; Smith e Levermore, 2008), as ICUs podem ser detectadas com mais frequência e intensidade em áreas urbanas, reduzindo a qualidade de vida da população. Nesse contexto (Kim e Brown, 2021), os estudos sobre clima urbano aumentaram nas últimas décadas e novas metodologias de avaliação das ICUs têm sido desenvolvidas, enquanto outras são aprimoradas e adaptadas a determinadas condições específicas, levando à implementação de medidas de adaptação e mitigação mais eficientes (Amorim *et al.*, 2021).

Estudos recentes (ex.: Amorim, 2000; Fialho, 2009; Lima, 2011; Ortiz, 2011; Souza, 2010), indicam que as ICUs deixaram de ser um evento exclusivo das grandes cidades, sendo identificadas em cidades de diferentes portes devido, principalmente, às constantes alterações no uso e cobertura do solo. Entretanto, muitos estudos sobre ICUs ainda são desenvolvidos em cidades de grande porte (You *et al.*, 2021) e em regiões de clima temperado (Kadhim-Abid *et*

*al.*, 2019) evidenciando uma carência de estudos em cidades de médio porte, especialmente aquelas com clima tropical e subtropical (Roth, 2007).

A análise desse fenômeno pode auxiliar gestores no planejamento urbano e conduzir a expansão sustentável de várias cidades (Amorim, 2020; Dorigon e Amorim, 2019). Vale ressaltar que o estudo de ICUs é pautado na avaliação do fenômeno durante as épocas secas (Amorim, 2020), quando o mesmo é exacerbado pelas condições do meio, possibilitando seu estudo com mais detalhe e sua consequente caracterização.

Neste trabalho, avaliamos as ICUs no município de Indaiatuba com o objetivo de caracterizar a frequência e a intensidade desse fenômeno entre as áreas urbanas e aquelas afastadas do centro. Como objetivo secundário, buscamos entender as condições que levaram a formação de ICUs através da avaliação dos dados de campo e comparação com a sinótica de mesoescala.

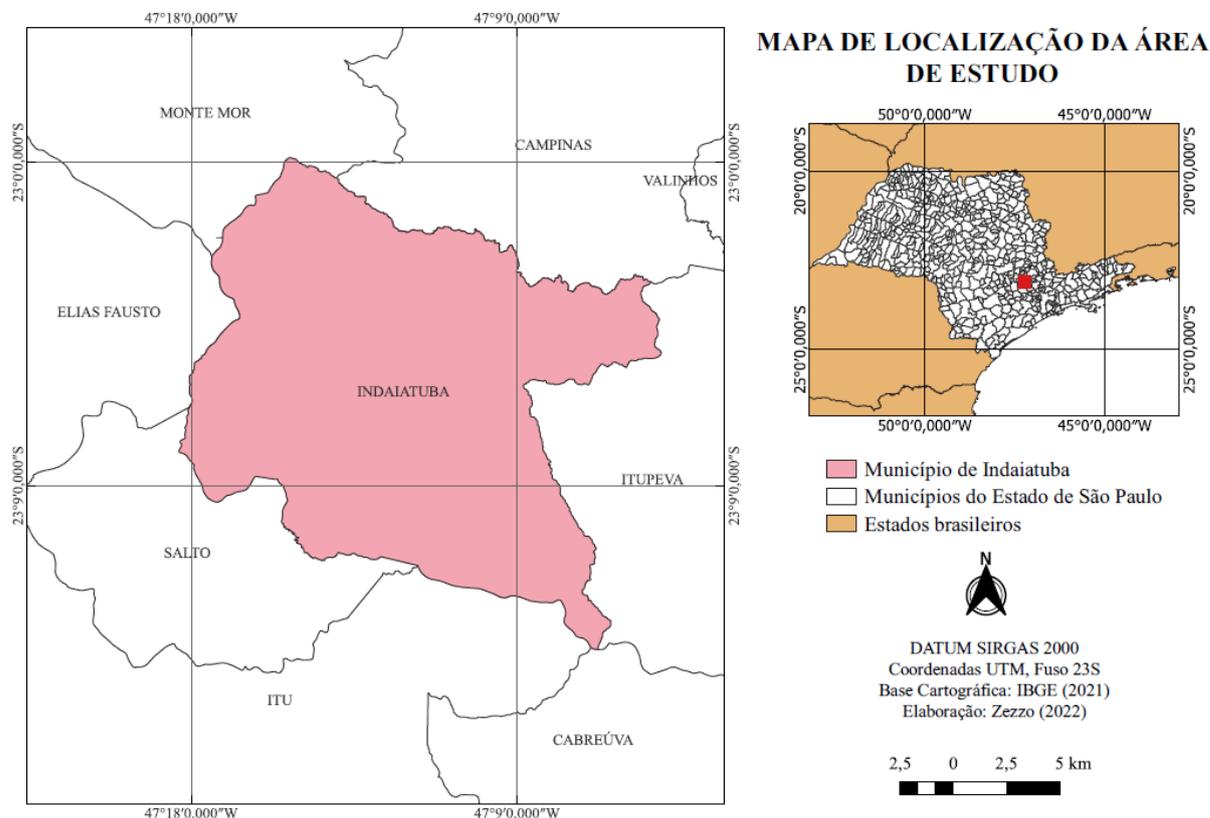
## **ÁREA DE ESTUDO**

O município de Indaiatuba (São Paulo) é considerado de porte médio, e teve um crescimento populacional de 78,8% nos últimos 12 anos, passando de 201.619 em 2010 para 255.739 habitantes em 2022 (IBGE, 2022). Indaiatuba (Figura 1), que se encontra nas coordenadas 23° 5' 18" S e 47° 13' 24" W, abrange uma área de 311,4 km<sup>2</sup> e tem uma altitude média de 575 metros.

A área de estudo está inserida no circuito das frutas, sendo um município de referência em fruticultura no Estado de São Paulo. Diante desse fato, a produção de frutas é base econômica para muitos produtores locais, que também incentivam o turismo rural, uma vez que o cultivo ocorre em pequenas propriedades rurais, favorecendo visitas turísticas e a geração de empregos (Bardin *et al.*, 2010).

No que diz respeito ao desenvolvimento industrial, o município apresentou crescimento significativo nas últimas décadas devido à instalação de grandes fábricas na região e à ampliação das já existentes (Santos Junior e Proença, 2014). Com isso, o município abrange diferentes usos do solo, com áreas mais densamente ocupadas e outras ainda em expansão, compreendendo usos residenciais, comerciais, industriais, agrícolas e mistos.

**Figura 1** - Localização do município de Indaiatuba (área de estudo) no estado de São Paulo, Brasil.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

## CARACTERIZAÇÃO DO CLIMA EM INDAIATUBA

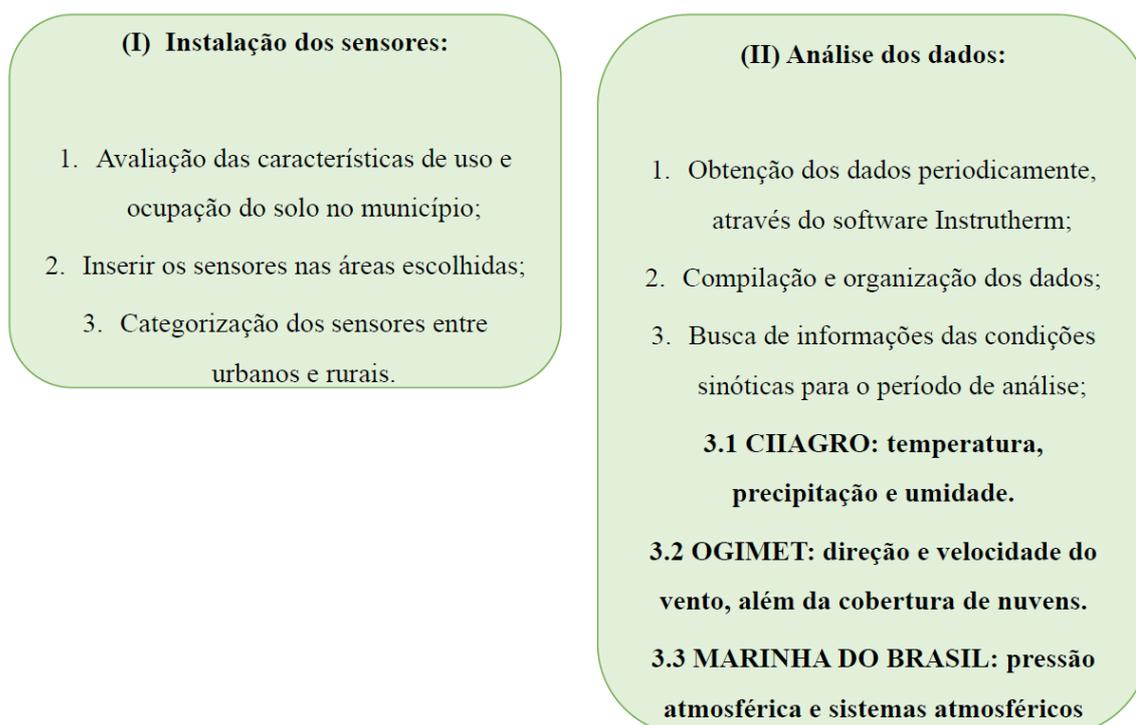
Segundo a classificação de Köppen, o clima é caracterizado, de modo geral, como Cwa, tropical de altitude com invernos secos. A temperatura média anual é de 22,5 °C, com o mês mais quente (fevereiro) apresentando temperaturas superiores a 28 °C (IAC, 2013), atingindo uma média mensal de 23,5 °C, enquanto que julho, considerado o mês mais frio, atinge uma temperatura média de 17,3 °C (Ciiagro, 2023), com mínimas de 12,4 °C.

A média anual da precipitação é de 1.400 mm (IAC, 2013). Nos meses de inverno (final de junho, julho, agosto e setembro) a precipitação é menor quando comparada aos meses de verão, com média de 40 mm, acompanhada de queda de temperatura, principalmente em julho. Os meses de verão (final de dezembro, janeiro, fevereiro e março) são mais úmidos, com valores de precipitação que podem ultrapassar os 200 mm. Normalmente o mês mais seco é agosto (média de 36 mm) e apresenta uma diferença pluviométrica de 224 mm em relação ao mês mais chuvoso, janeiro (média de 260 mm) (Ciiagro, 2023). Além disso, trabalhos indicam que eventos extremos estão se tornando cada vez mais frequentes neste município, com registros de impactos substanciais causados por fortes chuvas desde 1970 (Castellano e Nunes, 2014).

## METODOLOGIA

A metodologia foi dividida em 2 etapas: (i) instalação dos sensores de temperatura em função das características de uso e ocupação e (ii) análise estatística dos dados, correlacionando-os com as condições sinóticas constatadas por órgãos oficiais. A Figura 2 exemplifica os passos metodológicos realizados.

**Figura 2** - Quadro com o detalhamento dos procedimentos metodológicos que culminaram nas duas etapas mencionadas.

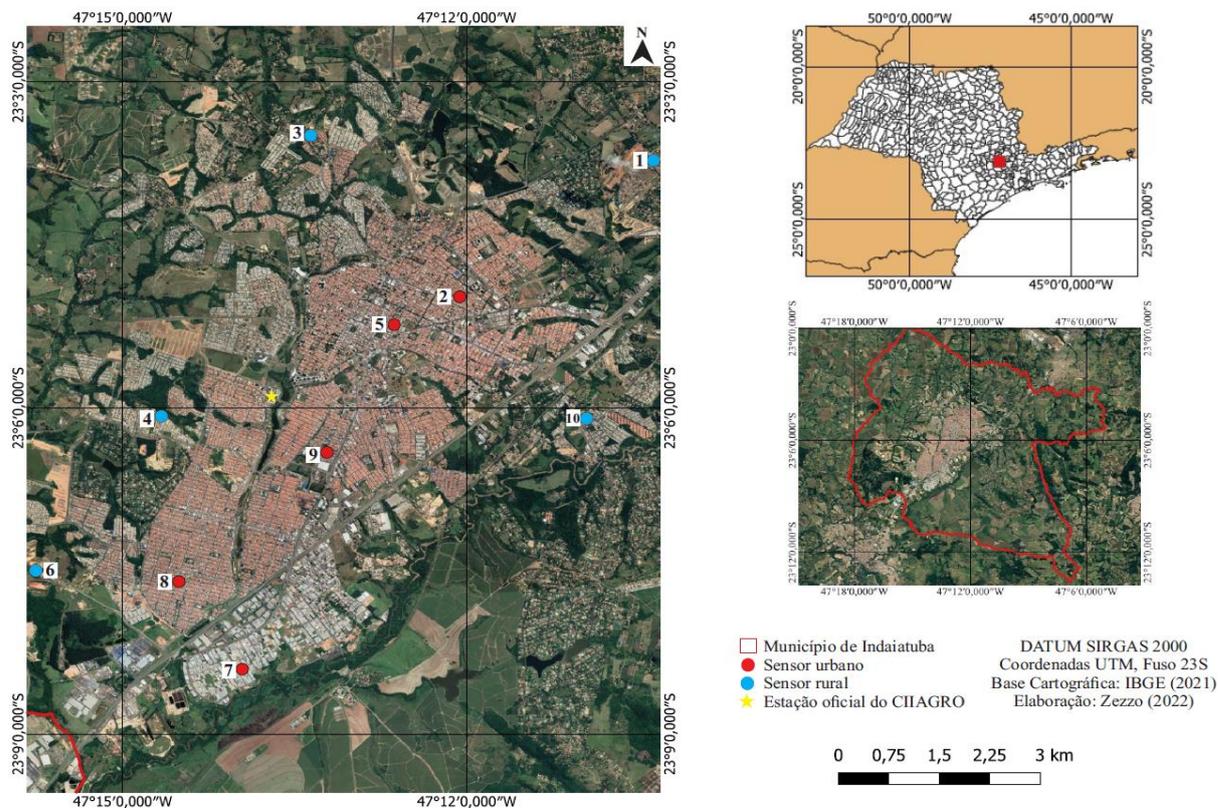


Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Na etapa 1, a partir da averiguação de imagens do *Google Earth* e da comprovação em visita de campo às diferentes áreas em Indaiatuba, foram instalados sensores de temperatura em dez pontos do município (Figura 3). A disposição dos sensores na área de estudo foi condicionada pelas características de uso e cobertura do solo de cada local, considerando a densidade de área construída e a presença de áreas verdes.

Os sensores foram categorizados em urbano ou rural, por estarem próximos ou distantes da área mais densamente construída. Nesse contexto, os sensores 2, 5, 7, 8 e 9 (pontos vermelhos da Figura 3) foram considerados sensores de área urbana, enquanto os sensores 1, 3, 4, 6 e 10 foram classificados na categoria de sensores de área rural (pontos azuis da Figura 3).

**Figura 3** - Localização dos sensores instalados no município de Indaiatuba para medição de temperatura.



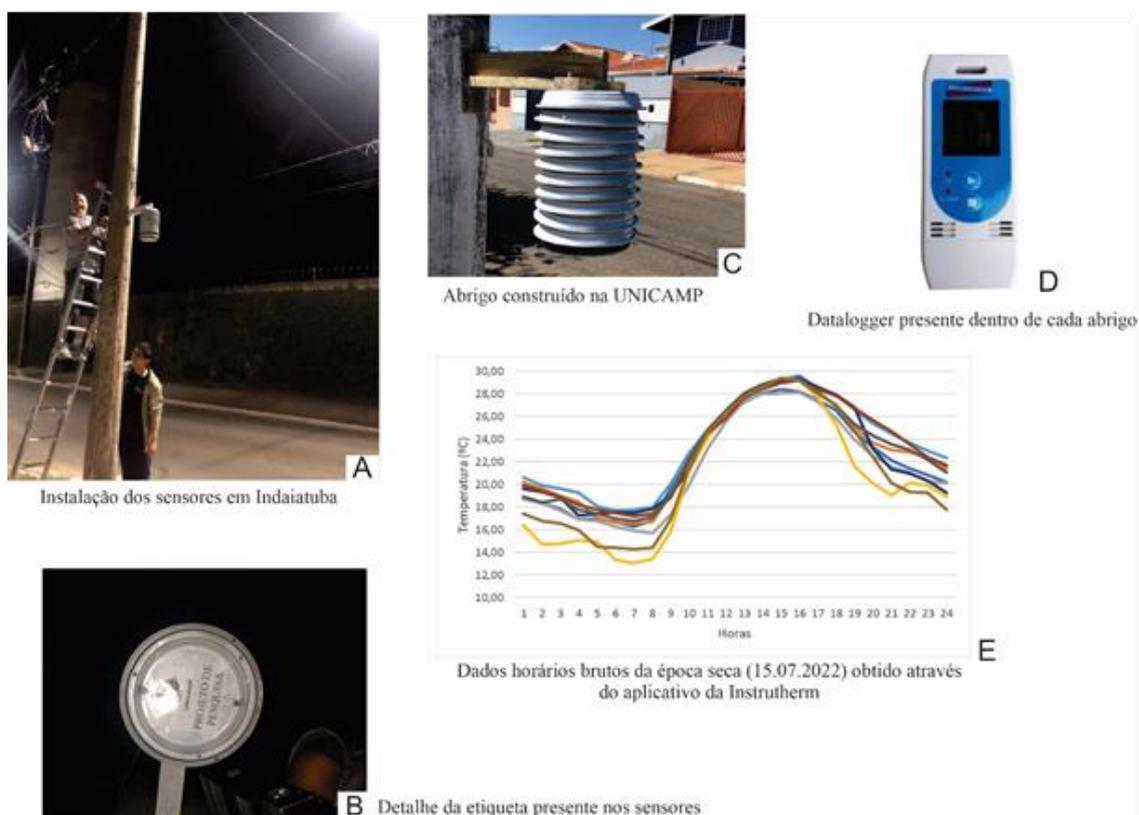
Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Cada um dos sensores instalados no município de Indaiatuba é composto por um *datalogger* e um abrigo meteorológico (Figura 4). Os *dataloggers* são da marca Instrutherm, modelo HT-900, com capacidade de armazenamento de 32.000 leituras programáveis de 10 segundos a 18 horas, e medição de temperatura de -30 °C a 60 °C (Figura 4d). A autonomia dos aparelhos é de aproximadamente 12 meses de bateria, que pode ser trocada. Os abrigos meteorológicos (Figura 4c) foram construídos pelos alunos do Centro de Pesquisa Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (CEPAGRI-UNICAMP), baseado nos trabalhos de Júnior *et al.* (2016) e Freitas (2018). Os aparelhos foram instalados em postes de energia elétrica da CPFL Energia a cerca de 3 metros de altura (Figura 4). Os sensores foram instalados em dezembro de 2021 e permaneceram em campo até dezembro de 2022.

Para programar os aparelhos e obter os dados, foi utilizado um software de fácil utilização e gratuito, disponível para download na página da internet do *datalogger* (<https://www.instrutherm.com.br/datalogger-para-medir-o-de-temperatura-e-umidade-modelo-ht-900>). Foram coletadas informações de temperatura a cada 10 minutos durante 1 ano, totalizando mais de 50.000 medições em cada um dos pontos. Todos os aparelhos foram monitorados a

cada 4 meses para obter os dados armazenados. Os dados armazenados nos *dataloggers* foram baixados periodicamente por meio do software fornecido (em formato csv e pdf), organizados e analisados por meio de estatísticas simples referentes a medidas de tendência, máximos, mínimos e médias. Com isso, foi possível observar frequência e intensidade referentes às ICUs na área de estudo.

**Figura 4** - Instalação dos sensores (A); Etiqueta da UNICAMP para identificação dos aparelhos em campo (B); Abrigo de baixo custo construído pelos alunos do CEPAGRI (C); Datalogger utilizado (D); Dados brutos horários obtidos na estação seca (E).



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Com a finalidade de compreender as condições do meio que propiciaram (ou não) a formação de ICUs e influenciaram na intensidade destas ao longo do ano em estudo foram utilizados 3 grupos de dados adicionais aos sensores de campo:

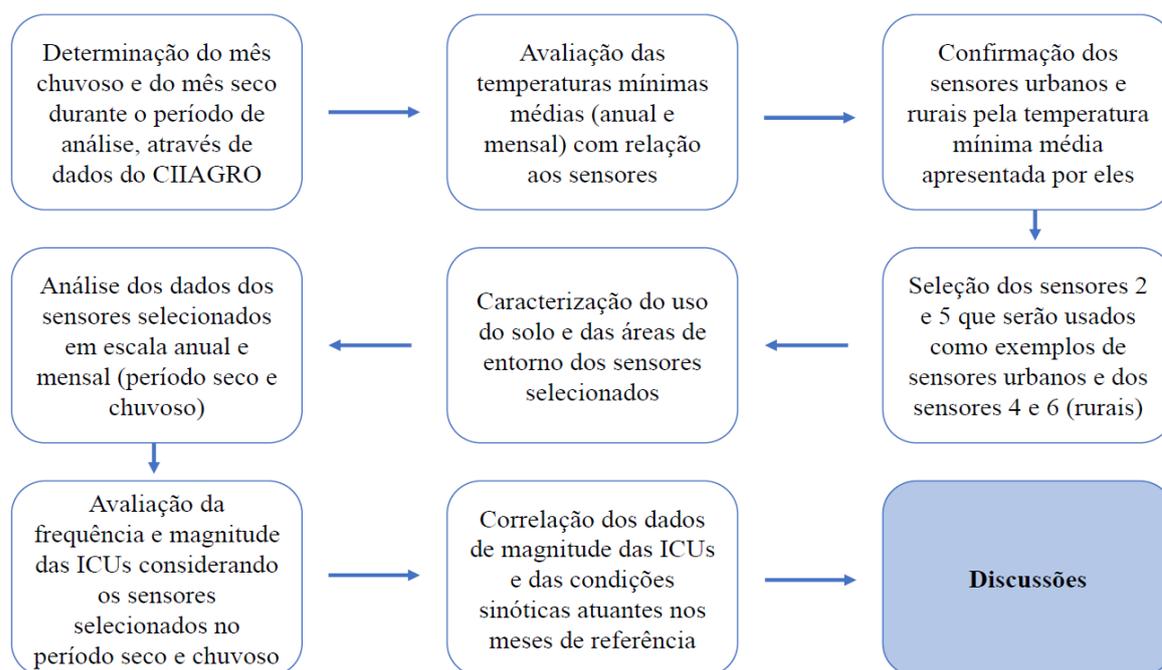
- i. Estação Meteorológica do município para a caracterização do padrão climático: foram obtidas informações da estação meteorológica automática do Ciiagro que faz parte do conjunto de estações do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) (<http://www.ciiagro.org.br/ema/index.php?id=26>). Foram utilizados dados de temperatura, precipitação e umidade relativa diários. A localização da Estação utilizada está na Figura 3 (em amarelo);

- ii. Informações sinóticas e de direção do vento e de cobertura de nuvens: foram obtidas através do site do OGIMET-Serviço de Informações Meteorológicas (<https://www.ogimet.com/gsynop.phtml>);
- iii. Sistemas Atmosféricos: a pressão atmosférica e os dados sobre sistemas atmosféricos foram provenientes das cartas sinóticas da Marinha do Brasil (<https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-smm-cartas-sinoticas/cartas-sinoticas>).

## RESULTADOS

Os resultados foram analisados segundo ilustrado na Figura 5.

**Figura 5** - Fluxograma que exemplifica como os resultados foram avaliados.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

## SENSORES URBANOS E RURAIS

Na média mensal (Tabela 1), os meses com a menor e maior temperatura mínima foram junho (14 °C) e janeiro (20,7 °C), respectivamente. O mês de julho foi identificado como o mês com maior quantidade de dia secos (precipitação menor ou igual a 1 mm), resultando em um valor total de 5,8 mm para o mês (Ciiagro, 2023). Portanto, a análise das ICUs comumente pautada na averiguação da temperatura mínima nos meses secos considerou o mês de julho de 2022 como exemplo para o presente estudo, enquanto que o mês úmido foi reconhecido como janeiro.

A média anual de temperatura mínima indicou que o sensor 5 teve o maior valor (18,2 °C), enquanto que o sensor 4 apresentou o menor (15,9 °C). Os sensores 2 (18,1 °C) e 9 (18 °C) também apresentaram médias elevadas de temperatura, ao contrário dos sensores 6 (16,8 °C), e

1 e 10 (17,4 °C) que, após o sensor 4, representaram as menores médias anuais de temperatura mínima.

**Tabela 1** - Apresentação dos valores médios de temperatura mínima (°C) para os sensores.

Pontos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média mensal geral
Janeiro	20,3	21,1	20,4	19,9	21,1	20,4	21,0	21,0	21,1	20,7	20,7
Fevereiro	20,4	21,1	20,4	19,0	21,2	20,3	20,6	20,8	20,9	20,6	20,5
Março	21,0	21,8	21,1	20,5	21,9	21,2	21,8	21,9	21,8	21,4	21,4
Abril	18,6	19,4	18,7	16,7	19,5	18,5	18,7	19,0	19,2	18,6	18,7
Maiο	14,3	15,1	14,4	12,1	15,2	14,0	14,4	14,9	15,0	14,2	14,3
Junho	14,1	14,8	14,1	12,0	15,0	13,4	13,9	14,4	14,6	13,6	14,0
Julho	15,1	15,8	15,0	12,2	16,3	13,8	14,9	15,6	15,9	14,3	14,9
Agosto	14,4	15,0	14,2	12,4	15,1	13,0	14,5	14,8	14,8	14,1	14,2
Setembro	15,0	15,6	15,1	14,2	15,7	14,5	15,3	15,5	15,5	15,2	15,2
Outubro	18,1	18,9	18,2	16,7	18,9	17,2	18,5	18,6	18,8	18,4	18,2
Novembro	16,8	17,8	17,0	15,2	17,7	15,6	17,2	17,3	17,5	17,2	16,9
Dezembro	20,2	20,9	20,3	19,9	20,8	20,3	21,0	21,0	20,8	20,5	20,6
Média anual por sensor	17,4	18,1	17,4	15,9	18,2	16,8	17,7	17,9	18,0	17,4	

As médias mensais evidenciaram o mesmo padrão apresentado com relação aos valores anuais, ou seja, o sensor 5 apresentou os maiores valores de temperatura durante os meses do ano, enquanto que o sensor 4 detectou as menores temperaturas médias mensais. Assim, avaliando com mais detalhe os valores mínimos de temperatura mensais para cada sensor, destacaram-se: o sensor 4, nos meses de junho (12 °C), maio (12,1 °C) e julho (12,2 °C) pelas menores temperaturas mínimas, bem como o sensor 10, nos mesmos meses de junho (13,6 °C), maio (14,2 °C), e julho (14,3 °C).

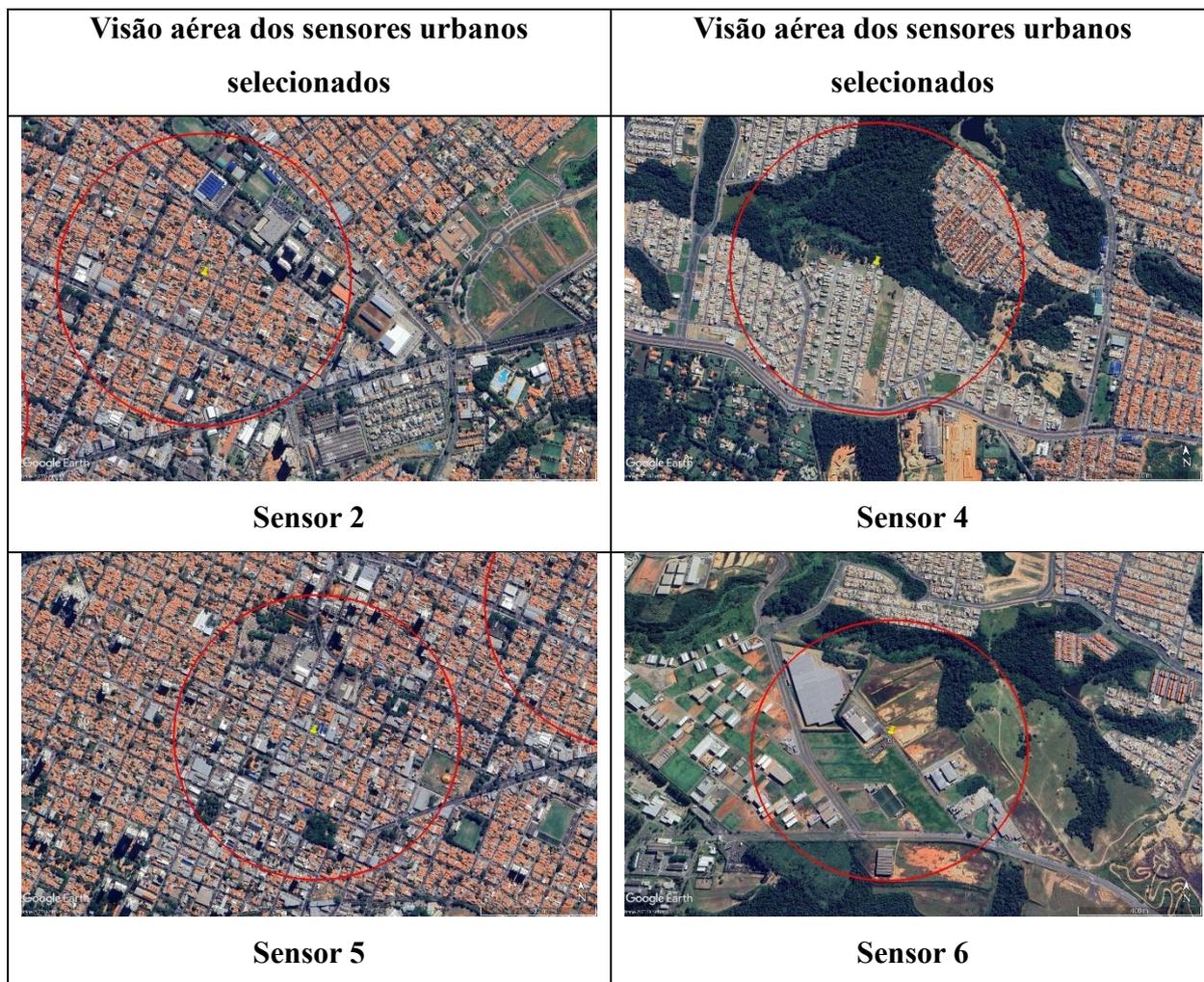
#### COMPARAÇÃO ENTRE OS SENSORES 5 E 2 (RURAIIS) E 4 E 6 (URBANOS)

Abordando a análise dos resultados a partir da concepção de sensores urbanos e rurais, destacamos os sensores 5 e 2 como exemplos na área urbana, bem como os sensores 4 e 6, como representantes das áreas mais afastadas do centro. Além disso, relacionou-se as temperaturas observadas com o uso e ocupação de entorno em cada caso, como apresentado na Figura 6.

Nesse contexto, é preciso comentar que os sensores 2 e 5 (especialmente o 5) encontram-se na área mais central do município, com alto índice construtivo e baixíssima presença de vegetação (<5%), numa altitude média de 600 m. Os sensores 4 e 6 estão em áreas mais afastadas do centro (porção oeste) e cada uma apresenta suas particularidades em função da expansão do município e alterações do uso e cobertura do solo. A região do sensor 4 está próxima a uma grande área verde (50%) que vem sendo pressionada pelas áreas residenciais

em construção, em uma altitude média de 620 m. O sensor 6 compreende uma área de expansão industrial na periferia de Indaiatuba, com alguns galpões, solo exposto e cobertura vegetal (<10%), com altitude média de 580 m.

**Figura 6** - Apresentação de imagens áreas obtidas através do Google Earth para as localidades dos sensores 2, 4, 5 e 6, considerando um raio demarcado de 500 m.



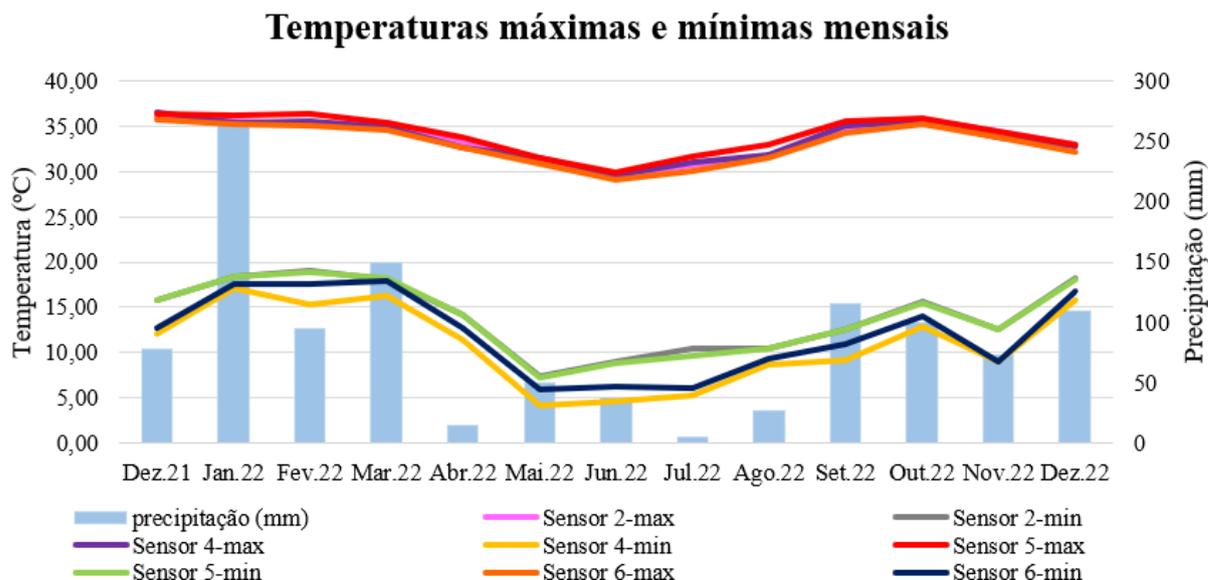
Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

O gráfico da Figura 7 apresenta a oscilação anual das temperaturas mínima e máxima desses sensores. Pôde-se verificar que a diferença na temperatura mínima absoluta entre os sensores rurais e urbanos é mais significativa, atingindo um máximo de 5,18 °C (julho-estação seca), com relação aos sensores 2 (urbano) e 4 (rural), enquanto que a diferença da temperatura máxima é menor, de 1,55 °C para os sensores 5 (urbano) e 6 (rural) também em julho de 2022.

A temperatura mínima oscilou mais ao longo do período em estudo, percebendo-se que a estação seca demarca de forma mais significativa as diferenças na temperatura mínima com relação aos sensores selecionados. As diferenças de temperatura mínima podem ser diretamente

relacionadas ao uso e ocupação do solo (apresentado na Figura 6), pois nota-se um padrão entre as temperaturas mínimas dos sensores 4 e 6, o qual é distinto das mínimas observadas nos sensores 2 e 5.

**Figura 7** - Gráfico referente às temperaturas máximas e mínimas absolutas para o período em estudo, considerando exemplos de sensores urbanos e rurais.



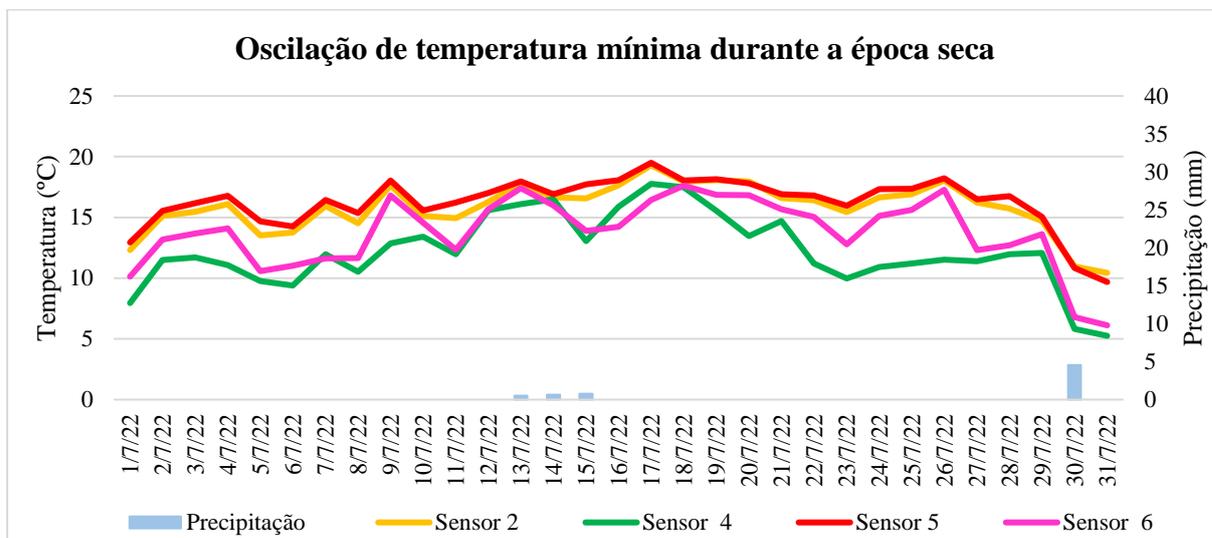
Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Considerando novamente os sensores 2, 4, 5 e 6, analisou-se o comportamento das temperaturas mínimas destes durante a época seca (julho) e a época chuvosa (janeiro), a partir da qual pôde-se notar forte diferenciação entre os valores durante o mês seco, julho (Figura 8), enquanto que oscilações menores foram verificadas durante o mês chuvoso, janeiro (Figura 9). Nesse caso, os sensores rurais 4 e 6 seguem expressando temperaturas mínimas significativamente menores que os sensores urbanos 2 e 5.

## AVALIAÇÃO DA FREQUÊNCIA E MAGNITUDE DAS ICUS

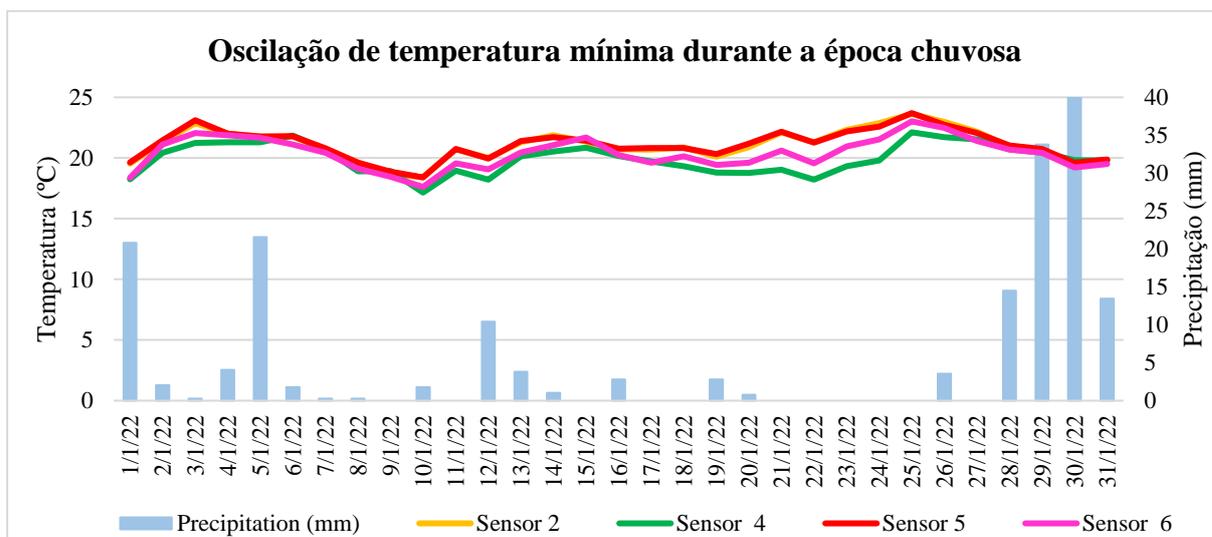
Para a avaliação da frequência e magnitude das ICUs é preciso comparar sensores em áreas distintas, ou seja, em áreas mais urbanizadas e menos urbanizadas. Nesse sentido, foram realizadas comparações quanto às temperaturas cotidianas mínimas entre os sensores 5 (urbano) e 6 (rural), assim como 5 (urbano) e 4 (rural), para compreender a frequência e magnitude desse fenômeno no período seco e chuvoso, tendo o sensor 5 como o local mais urbanizado do município.

**Figura 8** - Gráfico de oscilação entre as temperaturas mínimas nos sensores 2, 4, 5 e 6 para o mês de julho de 2022 (estação seca).



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

**Figura 9** - Gráfico de oscilação entre as temperaturas mínimas nos sensores 2, 4, 5 e 6 para o mês de janeiro de 2022 (estação chuvosa).

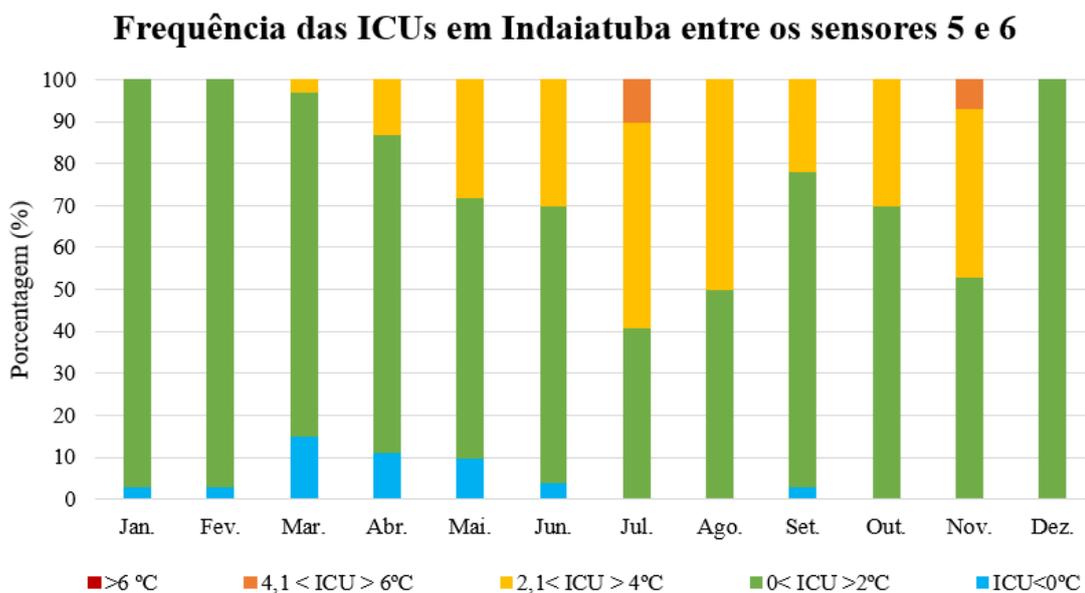


Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Segundo a classificação de García (1996), uma ICU de magnitude muito forte é aquela em que a diferença de temperatura entre um ponto da área urbana e outro da área rural é igual ou superior a 6 °C. O mesmo autor também cita que uma ICU com temperaturas entre 4 °C e 6 °C pode ser considerada de forte magnitude. Variações entre 2 °C e 4 °C são consideradas ICUs de média magnitude, e variações de 0 °C a 2 °C são ICUs de baixa magnitude.

A comparação dos sensores 5 e 6 identificou a ocorrência de ICU de baixa magnitude (72%), seguidas de ICU de média magnitude (22%) e ilhas de frescor (4%), enquanto que a presença de ICU de magnitude muito forte ( $>6^{\circ}\text{C}$ ) não foi identificada (Figura 10).

**Figura 10** - Gráfico de frequência das ICUs em Indaiatuba considerando as diferentes magnitudes classificadas de acordo com García (1996), durante o ano de 2022.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Nos meses chuvosos, como janeiro e março, destacaram-se principalmente as ICUs de baixa intensidade, bem como ilhas de frescor, enquanto que nos meses mais secos, como julho e agosto, não houve ilhas de frescor, sendo mais frequentes as ICUs de média e forte intensidade. Destaca-se que o mês de julho foi identificado como aquele em que foram observadas ICUs de maior intensidade. Nesse sentido, vale comentar a comparação entre os sensores 5 (urbano) e 4 (rural), que detectou a ocorrência majoritária de ICUs de baixa, média e forte magnitude durante todo o ano, e a identificação de ICU de magnitude muito forte em julho.

Analisando os meses de janeiro (época chuvosa) e julho (época seca), na área de estudo, é possível observar a ocorrência diária das ICUs e relacioná-las com as condições climáticas locais. Janeiro caracterizou-se como um mês quente e com um grande acúmulo de chuvas em 2022, apresentando essencialmente ICU de baixa magnitude.

Ainda quanto ao mês de janeiro, a avaliação diária desse fenômeno para os sensores 5 (urbano) e 6 (rural) indicou majoritariamente ICU de baixa magnitude, mas, também, de média magnitude, concentradas na segunda quinzena do mês. Considerando os dados climatológicos

de Indaiatuba, a temperatura média de janeiro ficou similar à média histórica, mantendo-se elevada (entre 20 e 35 °C) durante todo o mês. Da mesma forma, o volume de chuvas em janeiro (271 mm) ficou próximo ao esperado para o mês, que é de 260 mm segundo dados do Ciiagro. Nesse sentido, os elevados volumes de chuva levaram a um aumento da umidade relativa, que permaneceu alta durante todo o mês.

### **ANÁLISE SINÓTICA DAS ICUS**

No mês de janeiro identificou-se apenas dois sistemas atmosféricos na área de estudo, nomeadamente as frentes frias que ocorrem em dois períodos distintos (no início e no final do mês) e a Zona de Convergência do Atlântico Sul - ZCAS. As frentes frias vêm da região sul do Brasil, trazendo ventos frios e úmidos para a região, gerando chuva em contato com a massa de ar tropical presente no local, enquanto que as ZCAS atuam trazendo umidade da região amazônica e também calor. A maior concentração de umidade no início do mês explica a maior ocorrência de ilhas de frescor ao longo desses dias, bem como menores magnitudes de ICUs.

Em julho, a análise diária indicou essencialmente ICUs de baixa, média e forte magnitudes, sendo que as ICUs de baixa magnitude são menos frequentes. O referido mês apresentou diferenças de magnitude mais acentuadas, explicadas pelas condições atmosféricas naquele período. Cabe destacar que julho apresentou algumas peculiaridades, pois a temperatura média do mês é de 17,1 °C e os dados do Ciiagro indicaram que a média do mês em 2022 foi majoritariamente superior a 20 °C. A precipitação também indicou anomalias, já que a média histórica indicava 44 mm de chuva e o volume acumulado em 2022 foi de apenas 6,47 mm.

Os sistemas atmosféricos identificados para o período foram frentes frias e áreas de alta pressão, sendo que a primeira trouxe mais umidade para a região (concentrada em meados deste mês) e a segunda gerou períodos de mais calor e seca. Assim, as características atmosféricas concordam com as magnitudes de temperatura observadas para aquele mês, explicando a ocorrência de dias com magnitude forte ou mesmo muito forte, a depender dos sensores em comparação.

Nos demais meses de 2022 também foram identificadas ICUs na área de estudo, no que diz respeito aos demais sensores na área de estudo. No entanto, não foi identificada nenhuma ICU de magnitude muito forte além daquela já mencionada, sendo as demais em sua maioria de média magnitude.

## DISCUSSÕES

Os resultados do estudo demonstraram que a diferença entre as temperaturas máximas observadas nos dez pontos de estudo é pequena ao longo dos doze meses de análise, mas considerando as temperaturas mínimas, há uma variação significativa ao longo do ano. A maior diferença entre as temperaturas mínimas no município de Indaiatuba ocorreu durante a estação seca, que compreende os meses de maio, junho, julho e agosto, com destaque para julho, que apresentou a maior diferença de temperatura mínima entre um ponto e outro. Esse fato é explicado pelas condições atmosféricas específicas em julho, como a menor ocorrência de sistemas atmosféricos (gerando estabilidade atmosférica), baixa pluviosidade, menor nebulosidade e temperaturas mínimas elevadas proporcionaram um cenário ideal para a formação de ICUs (Teixeira, 2015).

Em janeiro houve maior precipitação, maior nebulosidade e a ocorrência frequente de sistemas atmosféricos que geram instabilidade, como as ZCAS, o que gera instabilidade e favorece a formação de ICUs de menor intensidade. Logo, as condições climáticas estáveis que se formaram nos meses mais secos, principalmente julho, e também as características de uso e cobertura do solo (Foissard *et al.*, 2015; Amorim, 2000) influenciaram na ocorrência e frequência das ICUs.

As características de distribuição das ilhas de calor no município são semelhantes às comentadas no trabalho de Oke (1978), que indicou que as temperaturas mais baixas são esperadas nos bairros periféricos, enquanto que nos bairros centrais são detectadas temperaturas mais altas devido à densidade de edifícios. Entretanto, essa característica não pode ser aplicada integralmente à área de estudo, uma vez que algumas áreas periféricas apresentaram diferenças significativas na temperatura mínima, em razão da heterogeneidade do município que não teve um planejamento urbano adequado, e possui áreas construídas com materiais inapropriados (Dorigon e Amorim, 2019).

As atividades urbanas aliadas ao uso/cobertura do solo provocam alterações nos processos dinâmicos da atmosfera e, conseqüentemente, nos elementos climáticos (Ren, 2015). Nesse mesmo sentido, comenta-se que a área do sensor 4 apresentou as menores temperaturas mínimas durante o período de estudo, o que pode ser explicado pela porção de vegetação próxima ao local, o que provavelmente contribuiu para a diminuição da temperatura do ar (Nuruzzaman, 2015).

Diante dos dados apresentados, entende-se que dias mais quentes e secos, como os ocorridos no mês de julho, são essenciais para a formação de ICUs de grandes magnitudes, corroborando com estudos anteriores realizados em cidades de médio porte. Além disso, comparando a média histórica com os valores obtidos em 2022, é possível perceber uma tendência de aumento da temperatura e ocorrência de eventos extremos de temperatura e precipitação na área de estudo, o que pode potencializar as ICUs.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Este trabalho detectou e avaliou a ocorrência e a magnitude de ICUs no município de Indaiatuba, no interior de São Paulo. O estudo identificou áreas críticas, onde as ICUs se desenvolveram com maior intensidade. Os resultados encontrados sugerem uma relação direta entre a formação de ICUs e padrões de uso e cobertura do solo, bem como com condições climáticas estáveis. A vegetação, por sua vez, mostrou-se um fator importante, influenciando fortemente na presença ou ausência de ICU e regulando sua intensidade.

Os dados obtidos mostraram que o sensor instalado no local mais central e urbanizado do município (sensor 5) apresentou as maiores temperaturas mínimas durante o período de análise, demonstrando que a área central é a mais quente do município. Por outro lado, o sensor instalado na área caracterizada como de uso rural (sensor 4), evidenciou as menores temperaturas mínimas. Nos meses mais secos foram observadas as ICU mais intensas e, na estação chuvosa (janeiro), foram detectadas ICUs com intensidade de baixa a média.

É interessante notar que as ICUs são menos intensas na estação chuvosa do que na seca, mas isso não altera o desconforto sentido pela população nos meses mais quentes, quando as temperaturas médias nas cidades tropicais chegam facilmente a 30 °C. Além disso, os resultados indicam que Indaiatuba, assim como outras cidades de médio porte do Brasil, apresentam ICUs com magnitudes muito fortes, o que seria esperado em grandes cidades. Conclui-se, portanto, que os diferentes padrões de ICUs observados em Indaiatuba estão relacionados, assim como em outras cidades de médio porte do Brasil, ao uso e cobertura do solo, bem como às condições climáticas existentes.

Diante do exposto, entende-se que medidas de mitigação e adaptação são necessárias para que a população possa ter conforto térmico e, portanto, qualidade de vida, no que diz respeito ao desenvolvimento de suas atividades. Espera-se que este estudo possa proporcionar o desenvolvimento de metodologias de análise quanto às ICUs em áreas tropicais, bem como

servir de ferramenta de planejamento e gestão do espaço urbano em Indaiatuba e demais municípios brasileiros.

## AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Campus France, pela concessão da Bolsa Eiffel à Larissa Vieira Zezzo na Université Rennes 2 (França), permitindo o desenvolvimento desse projeto de doutorado.

Ao programa CAPES/COFECUB - processo: 88881.191765/2018-01; Sh 941/19 – projeto: CiCIAMEn (Cidades, Clima e Vegetação: Modelagem e Políticas Públicas Ambientais), pelo apoio financeiro.

## REFERÊNCIAS

AMORIM, M. C. C. T. Daily evolution of urban heat islands in a Brazilian tropical continental climate during dry and rainy periods. **Urban Climate**, Amsterdã, v. 34, 100715, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100715>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212095520303850>. Acesso em: 28 jun. 2023.

AMORIM, M. C. C. T. **O clima urbano de Presidente Prudente/SP**. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8135/tde-26122022-144828/pt-br.php>. Acesso em: 7 jul. 2023.

AMORIM, M. C. C. T.; DUBREUIL, V.; AMORIM, A. T. Day and night surface and atmospheric heat islands in a continental and temperate tropical environment. **Urban Climate**, Amsterdã, v. 38, 100918, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100918>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212095521001486>. Acesso em: 28 jun. 2023.

BARDIN, L.; JÚNIOR, M. J. P.; MORAES, J. F. L. Estimativa das Temperaturas máximas e mínimas do ar para a região do Circuito das Frutas, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 6, p. 618–624, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000600008>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/5GTcc9Kqgm59HRbbwXHktFx/>. Acesso em: 18 jun. 2023.

CASTELLANO, M. S.; NUNES, L. H. Riscos associados às chuvas intensas em Indaiatuba, São Paulo, Brasil. In: III Congresso Internacional de Riscos, v. 1, p. 259-264, 2014, Guimarães, Portugal. **Anais [...]**. Multidimensão e Territórios de Risco, Guimarães, Portugal, 2014. Disponível em: [https://www.riscos.pt/wpcontent/uploads/2018/Outras\\_Pub/outros\\_livros/III\\_CIR/iii\\_cir\\_artigo043.pdf](https://www.riscos.pt/wpcontent/uploads/2018/Outras_Pub/outros_livros/III_CIR/iii_cir_artigo043.pdf). Acesso em: 9 jun. 2023.

CIIAGRO - **Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas**. Disponível em: <http://www.ciiagro.sp.gov.br/>. Acesso em: 15 mar. 2023.

D'IPPOLITI, D. *et al.* The impact of heat waves on mortality in 9 European cities: results from the EuroHEAT project. **Environmental Health**, Londres, v. 9, n. 1, p. 37, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1186/1476-069X-9-37>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20637065/>. Acesso em: 15 jun. 2023.

DORIGON, L. P.; AMORIM, M. C. C. T. Spatial modeling of an urban Brazilian heat island in a tropical. **Urban Climate**, Amsterdã, v. 28, 100461, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100461>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212095518300646>. Acesso em: 20 jun. 2023.

FOISSARD, X.; DUBREUIL, V.; QUÉNOL, H. Defining scales of the land use effect to map the urban heat island in a mid-size European city: Rennes (France). **Urban Climate**, Amsterdã, v. 29, 100490, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100490>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212095518300877>. Acesso em: 20 jun. 2023.

FREITAS, M. **Caracterização de sensores e abrigos meteorológicos de baixo custo**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Física). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/180974>. Acesso em: 29 maio 2023.

GAETE, C. M. Mapas: La urbanización en el mundo entre 1950 y 2030. In: GAETE, C. M. **ArchDaily-Notícias de Arquitetura**. 2015 Disponível em: <https://www.archdaily.cl/cl/763057/mapas-la-urbanizacion-en-el-mundo-entre-1950-y-2030>. Acesso em: 29 mai. 2023.

GARCÍA, Felipe Fernández. **Manual de climatología aplicada: clima, medio ambiente y planificación**. Madrid: Editorial síntesis, 1996.

GRIMMOND, S. U. E. Urbanization and global environmental change: local effects of urban warming. **Geographical Journal**, Londres, v. 173, n. 1, p. 83–88, 2007. DOI: [https://doi.org/10.1111/j.1475-4959.2007.232\\_3.x](https://doi.org/10.1111/j.1475-4959.2007.232_3.x). Disponível em: [https://rgs-ibg.online.library.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1475-4959.2007.232\\_3.x](https://rgs-ibg.online.library.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1475-4959.2007.232_3.x). Acesso em: 20 jun. 2023.

IAC - Instituto Agrônomo de Campinas. **Polo turístico do circuito das frutas do Estado de São Paulo: fisiografia e clima**. Série Tecnologia Apta. Boletim Técnico IAC, Campinas, 2013. Disponível em: <https://www.iac.sp.gov.br/publicacoes/arquivos/iacbt213.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2023.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo 2022**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/indaiatuba/panorama>. Acesso em: 15 mar. 2023.

JÚNIOR, M. O. V. *et al.* Análise da relação entre abrigos meteorológicos alternativos para pontos fixos e o comportamento de variáveis termo-higrométricas. **Revista Brasileira de Climatologia**, Paraná, v. 18, n. 12, p. 157-179, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v18i0.45146>. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/45146>. Acesso em: 10 jul. 2023.

KADHIM-ABID, A. L.; ICHIM, P.; ATANASIU, G. M. Seasonal occurrence of heat island phenomenon in the urban built environment. **Environmental Engineering and Management Journal**, Iasi, v. 18, n. 2, p. 417-424, 2019. DOI: <https://doi.org/10.30638/eemj.2019.039>. Disponível em: [http://www.eemj.icpm.tuiasi.ro/pdfs/vol18/no2/14\\_66\\_Kadhim\\_15.pdf](http://www.eemj.icpm.tuiasi.ro/pdfs/vol18/no2/14_66_Kadhim_15.pdf). Acesso em: 23 jun. 2023.

KIM, S. W.; BROWN, R. D. Urban heat island (UHI) intensity and magnitude estimations: A systematic literature review. **Science Total Environment**, Amsterdã, v. 779, 146389, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146389>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969721014571>. Acesso em: 1 jun. 2023.

KLEIN, R. J. T. *et al.* Adaptation opportunities, constraints, and limits. *In: FIELD, C. B. et al. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge, United Kingdom and New York, p. 899-943, 2014.

LIMA, G. N. **Características do clima urbano de Nova Andradina-MS.** Dissertação (Mestrado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2011.

MARINHA DO BRASIL. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-smm-cartas-sinoticas/cartas-sinoticas>. Acesso em: 15 mar. 2023.

McKENZIE, L. Hotter cities: climate change and planning for resilient, healthy urban environments. *In: BARTON, H. et al. The Routledge Handbook of Planning for Health and Well-Being: Shaping a Sustainable and Healthy Future.* London, 2015. DOI: <https://doi.org/10.4324/9781315728261>. Disponível em: <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.4324/9781315728261-21/hotter-cities-louise-mckenzie>. Acesso em: 10 maio 2023.

MEYFROIDT, P. *et al.* Globalization of land use: distant drivers of land change and geographic displacement of land use. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, Amsterdã, v. 5, n. 5, p. 438-444, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.04.003>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1877343513000353>. Acesso em: 15 jul. 2023.

NURUZZAMAN, M. Urban heat island: causes, effects, and mitigation measures-a review. **International Journal of Environmental Monitoring and Analysis**, New York, v. 3, n. 2, p. 67–73, 2015. DOI: <https://doi.org/10.11648/j.ijema.20150302.15>. Disponível em: <https://www.sciencepublishinggroup.com/article/10.11648.j.ijema.20150302.15>. Acesso em: 1 jul. 2023.

OGIMET – **Serviço de Informações Meteorológicas.** Disponível em: <https://www.ogimet.com/gsynop.phtml>. Acesso em: 15 mar. 2023.

OKE, T. R. The micrometeorology of the urban forest. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, Londres, v. 324, p. 335-349, 1989. DOI: <http://doi.org/10.1098/rstb.1989.0051>. Disponível em: <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rstb.1989.0051>. Acesso em: 10 jun. 2023.

ORTIZ, G. F. **O clima urbano de Cândido Mota: análise do perfil térmico e higrométrico em episódios de verão.** Dissertação (Mestrado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2011.

REN, G. Y. Urbanization as a major driver of urban climate change. **Advances in Climate Change Research**, Beijing, v. 6, n. 1, p. 1-6, 2015. Disponível em: [https://www.scipedia.com/public/Ren\\_2015a](https://www.scipedia.com/public/Ren_2015a). Acesso em: 24 jun. 2023.

ROTH, M. Review of urban climate research in (sub)tropical regions. **International Journal of Climatology**, Reino Unido, v. 27, p. 1859–1873, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.1591>. Disponível em: <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/joc.1591>. Acesso em: 27 jun. 2023.

SANTOS JUNIOR, W. R. S.; PROENÇA, A. D. A. Formação do corredor urbano Campinas-Sorocaba: Reconcentração produtiva e estruturação do território. **Cadernos de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo**, São Paulo, 2014. Disponível em: <https://editorarevistas.mackenzie.br/index.php/cpgau/article/view/SANTOS.2014.1/5274>. Acesso em: 15 jun. 2023.

SETO, K. C. *et al.* A meta-analysis of global urban land expansion. **PLoS One**, São Francisco, v. 6, n. 8, e23777, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0023777>. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0023777>. Acesso em: 15 jul. 2023.

SMARGIASSI, A. *et al.* Variation of daily warm season mortality as a function of micro-urban heat islands. **Journal of Epidemiology Community Health**, Londres, v. 63, n. 8, p. 659–664, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1136/jech.2008.078147>. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2701553/>. Acesso em: 30 jun. 2023.

SMITH, C.; LEVERMORE, G. Designing urban spaces and buildings to improve sustainability and quality of life in a warmer world. **Energy Policy**, Reino Unido, v. 36, n. 12, p. 4558–4562, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.09.011>. Disponível em: <https://www.science-direct.com/science/article/abs/pii/S0301421508004825>. Acesso em: 25 jul. 2023.

SOUZA, M. B. de. **Influência de lagos artificiais no clima local e no clima urbano: estudo de caso em Presidente Epitácio (SP)**. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

TEIXEIRA, D. C. F. **O clima urbano de Rancharia (SP)**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2015.

WRIGHT, C. K.; WIMBERLY, M. C. Recent land use change in the Western Corn Belt threatens grasslands and wetlands. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States**, Washington, v. 110, n. 10, p. 4134–4139, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1215404111>. Disponível em: <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.1215404110>. Acesso em: 22 jul. 2023.

YOU, M. *et al.* Quantitative Analysis of a Spatial Distribution and Driving Factors of the Urban Heat Island Effect: A Case Study of Fuzhou Central Area, China. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, Basel, v. 18, 13088, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph182413088>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1660-4601/18/24/13088>. Acesso em: 28 jul. 2023.

## **ILHA DE CALOR À BEIRA-MAR: A ÁREA CONURBADA DE FLORIANÓPOLIS-SC**

*Geisa Silveira da Rocha  
Vincent Dubreuil  
Francisco Mendonça*

### **INTRODUÇÃO**

Quando se observa a distribuição da população mundial pelo espaço, nota-se que mais da metade (56%) reside em áreas urbanas, com uma parcela significativa delas localizada em regiões costeiras. No Brasil, mais de 60% da população vive em zonas urbanas litorâneas (ONU-Habitat, 2023; PBMC, 2016).

Nessas áreas, é bastante comum observarmos a incidência recorrente de impactos ligados à dinâmica climática, como é o caso das inundações e dos alagamentos associados a eventos extremos. A dinâmica físico-natural costeira já é complexa; no entanto, quando somamos a influência da urbanização, essas regiões adquirem um nível adicional de complexidade.

Apesar do conhecimento histórico sobre muitos dos fenômenos naturais potencialmente perigosos para as zonas costeiras - que impactam anualmente de diferentes formas a vida cotidiana e a qualidade de vida da população - é essencial reconhecer que esses elementos são os responsáveis por atribuir a essas regiões o status de locais de maior risco global (Nicolodi; Petermann, 2010; Glavovic *et al.*, 2022).

Além dos impactos relacionados aos fenômenos hidrometeorológicos, no contexto do campo térmico, várias pesquisas conduzidas em diversas regiões do mundo têm revelado que, mesmo com a influência de brisas frescas, as cidades costeiras exibem variações térmicas significativas entre suas áreas urbanizadas e as não urbanizadas (Gedzelman *et al.*, 2003; Mestayer *et al.*, 2003; Emmanuel; Johansson, 2007; Papanastasiou *et al.*, 2010; Lopes *et al.*, 2012).

Essas variações térmicas de ambientes urbanos e não urbanos, conduzem ao conceito de ilha de calor urbana (ICU), o que Gartland (2010) denomina de “oásis inverso”. Salienta-se que

a ICU abordada nesse capítulo é do tipo “atmosférica”, também denominada por Oke *et al.* (2017) como a ICU da camada do dossel urbano. Esse tipo de fenômeno é observado, usualmente, no período noturno.

Cabe destacar que a ilha de calor faz parte de um fenômeno mais amplo denominado de Clima Urbano, interpretado como as condições climáticas específicas encontradas nas áreas urbanas, resultantes da interação entre as atividades humanas, as estruturas construídas e as características naturais do ambiente urbano (Monteiro, 1976; 2003).

Considerando as características, os fenômenos e a amplitude do tópico em discussão, assim como o potencial de contribuição para esta obra, surgem as seguintes questões: como a ilha de calor urbana se manifesta em um ambiente costeiro, como na área conurbada de Florianópolis? Sob que circunstâncias isso ocorre? Quais são os aspectos espaciais envolvidos?

A investigação foi baseada no escopo teórico-metodológico do Sistema Clima Urbano, focando no subsistema termodinâmico onde se encontra a ICU como produto do ambiente transformado (Monteiro, 1976; 2003).

A fim de explorar essa temática, o texto foi estruturado em três seções distintas. Na primeira seção, são discutidos os aspectos físicos, socioeconômicos e urbanos da área conurbada de Florianópolis, destacando-se os fatores que contribuem para a formação da Ilha de Calor Urbana (ICU). Em seguida, faz-se a análise da dimensão espacial da ICU e, por fim, a última seção apresenta as considerações finais, concluindo o texto.

## **AS CONDICIONANTES DA ICU EM FLORIANÓPOLIS E CONURBAÇÃO**

A análise do clima urbano da área de estudo pode ser primeiramente compreendida por meio das condições sinóticas na Região Sul do Brasil, que geralmente apresentam certa semelhança ao longo do território catarinense e adquirem características mais específicas no litoral do estado.

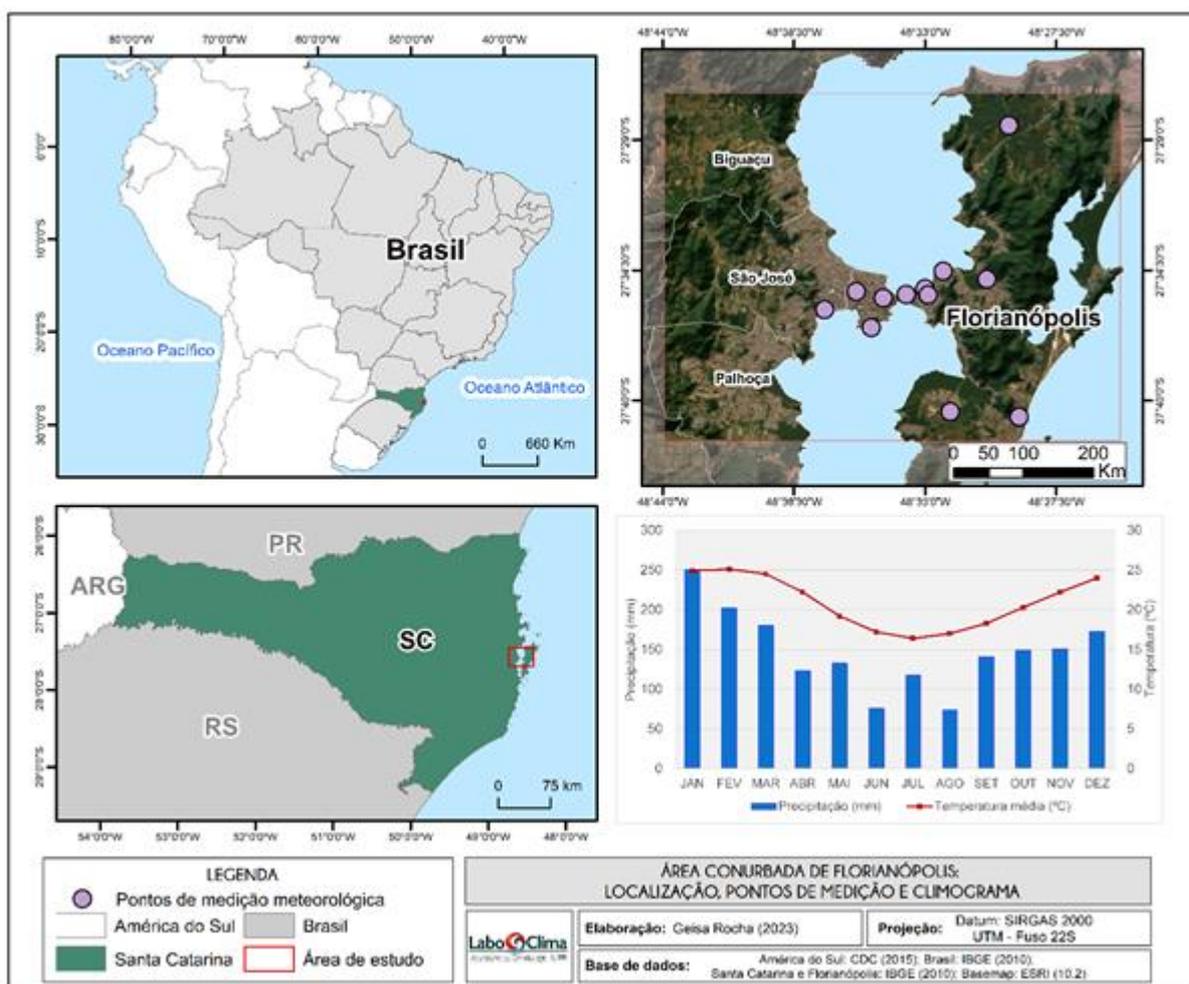
Pode-se dizer que isso é decorrente, em parte, da localização da posição geográfica de seu sítio urbano, situado nas latitudes médias entre 27°15' S e 27°45' S (Figura 1). Também é preciso considerar que a configuração do sítio é influenciada pelo ambiente insular da Ilha de Santa Catarina (que corresponde a 97% do território do município de Florianópolis).

Por conta disso, a urbanização na Ilha ocorreu de maneira polinucleada, com a maior densidade de urbanização concentrada na península central. Foi na década de 1970 que a capital do estado de Santa Catarina, Florianópolis, assim como os municípios vizinhos de São José,

Biguaçu e Palhoça, testemunharam um notável crescimento urbano, culminando na formação de uma área conurbada<sup>11</sup>.

Com uma economia concentrada no setor de serviços, a capital catarinense possui 537.213 habitantes, de acordo com dados do IBGE (2022). Durante o verão, essa população experimenta um notável incremento, uma vez que Florianópolis figura entre os destinos turísticos mais atrativos do país (EMBRATUR, 2022). Ao somarmos a população dos municípios integrantes dessa aglomeração, a área conurbada engloba uma comunidade de aproximadamente 1,1 milhões de indivíduos.

**Figura 1** - Área conurbada de Florianópolis: localização, pontos de medição e climograma.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

No âmbito da dinâmica climática, a maritimidade exerce uma influência constante e relevante nos elementos climáticos, especialmente na precipitação, que apresenta um padrão

<sup>11</sup> Entende-se como conurbação o resultado de uma absorção de núcleos urbanos com vinculações socioeconômicas que crescem de maneira contínua ou descontínua no entorno de uma cidade maior ou central (Villaja, 2001).

regular ao longo do ano (Figura 1 - climograma), sendo um pouco mais expressiva nos meses mais quentes. O clima da região é classificado, conforme Köppen, como “Cfa”, indicando um clima temperado, sem estação seca e com verão quente (Dubreuil *et al.*, 2018). Na Figura 1, observa-se que a temperatura média varia entre 15 °C e 25 °C, com declínio entre os meses de abril e agosto.

A influência decorrente da proximidade com o mar é amplificada pela interação entre distintos sistemas atmosféricos, tais como o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) e a Massa Polar Atlântica (mPa), os quais desempenham papéis essenciais na dinâmica atmosférica.

O ASAS, em conjunto com a Massa Tropical Atlântica (mTa), contribui para o aumento das temperaturas e para ventos oriundos dos quadrantes norte e nordeste. Por outro lado, a Massa Polar Atlântica (mPa), sob a influência do Anticiclone Migratório Polar (AMP), traz consigo ventos provenientes do sul, resultando em uma diminuição da umidade e das temperaturas, sobretudo durante o inverno. As variações nos padrões de tempo atmosférico são em grande medida influenciadas pelos sistemas frontais, notadamente a Frente Polar Atlântica (FPA), que surge do encontro entre a mTa e a mPa.

Dentro desta análise climática, é relevante destacar que, durante os períodos de maior estabilidade atmosférica, comuns na região sob a influência da mPa ou da mTa, há uma tendência mais acentuada da ilha de calor alcançar magnitudes fortes e, até mesmo, muito fortes<sup>12</sup> na área. Um indicador da estabilidade do ar, a nebulosidade durante a noite, apresenta uma relação inversa com a magnitude da ICU. Em outras palavras, quando há menor cobertura de nuvens, a intensidade da ilha de calor tende a ser mais pronunciada (Rocha; Dubreuil; Mendonça, 2020).

## **UMA ILHA DENTRO DE OUTRA: A MANIFESTAÇÃO DA ICU**

No ano de 1987, quando a população da área conurbada contava com pouco menos de meio milhão de habitantes, Sezerino e Monteiro (1990) conduziram a primeira investigação sobre as temperaturas intraurbanas em Florianópolis. Naquela época, os autores encontraram indícios da formação da ICU, embora sem uma configuração evidente. Quase uma década e meia mais tarde, em 2002, Mendonça apresentou um estudo que apontava para a ausência de

---

<sup>12</sup> Para avaliar a magnitude da ilha de calor urbana, adotou-se as categorias estabelecidas por Fernández Garcia (1996), em que as magnitudes no intervalo de 0 a 2 °C são classificadas como fracas, de 2 a 4 °C como moderadas, de 4 a 6 °C como fortes, e aquelas superiores a 6 °C são consideradas muito fortes.

continuidade espacial na ICU de Florianópolis. A autora denominou as formas espaciais da ICU de "arquipélagos de calor", núcleos estes que atingiam em média, 6 °C de magnitude.

Os "arquipélagos de calor", assim nomeados devido à descontinuidade espacial da ICU causada pelos maciços de morros na porção insular e pela urbanização polinucleada (Mendonça, 2002), foram identificados na área conurbada em 2021, porém com uma presença menos fragmentada e uma intensidade mais marcante (Rocha, 2021). É com base neste estudo mais recente que serão apresentados os resultados a seguir neste capítulo, uma vez que integram a tese de doutorado de um dos autores deste trabalho.

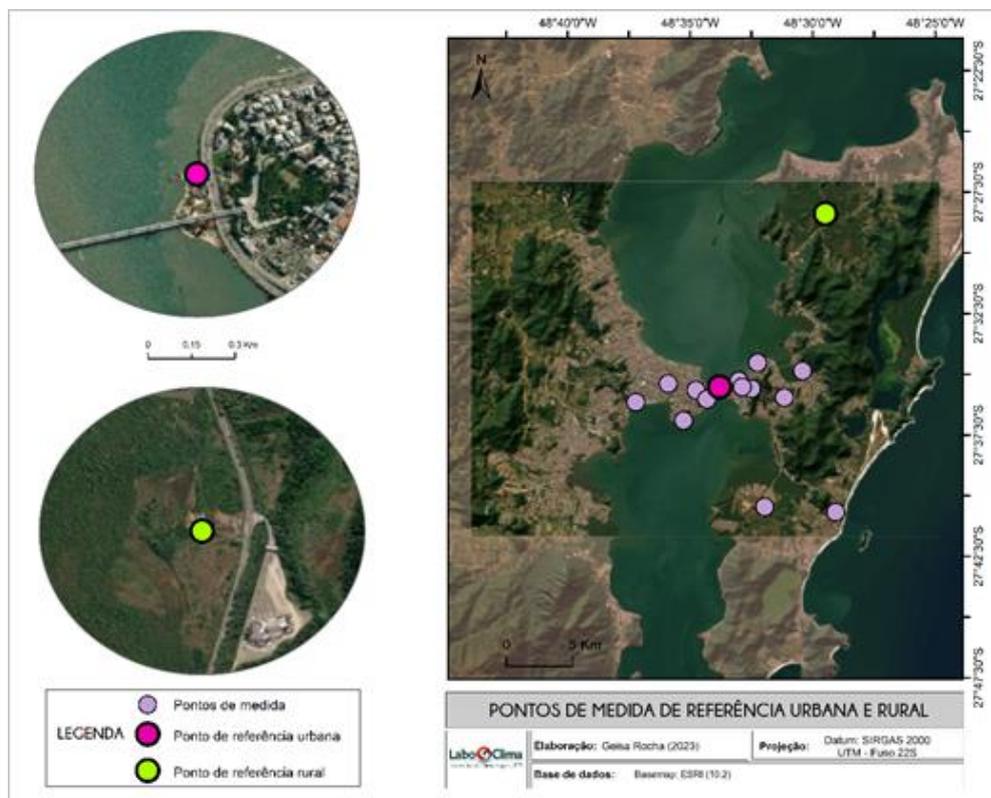
Foram coletados dados meteorológicos ao longo de um ano, de agosto de 2018 a julho de 2019, por meio de 15 pontos de medição distribuídos, sendo 10 na parte insular e 5 na continental. A rede principal de coleta incluiu 6 estações meteorológicas completas da marca Davis Vue e 5 sensores Tinytag. A coleta secundária de dados envolveu estações do Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), do aeroporto Hercílio Luz da Rede de Meteorologia do Comando da Aeronáutica (REDEMET), do Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina (CIRAM-EPAGRI) e da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

## **VARIAÇÕES TEMPORAIS E MAGNITUDES DA ICU**

Para examinar as características da ilha de calor, selecionamos duas estações de referência: uma em ambiente urbano predominante e outra em ambiente não urbano ou rural (Figura 2). Para determinar a intensidade da ICU, subtraímos os valores de temperatura da estação de referência rural dos valores de temperatura da estação urbana, ou seja,  $\Delta T = T_{\text{Urbana}} - T_{\text{Rural}}$ .

A estação de referência urbana está a 1 metro de altitude, próxima ao mar (a 24 metros da praia), ao lado de uma movimentada avenida. A área circundante é composta por prédios residenciais de cerca de 12 andares. Essa estação, que registrou os valores mais altos de intensidade da ilha de calor urbana (ICU), foi escolhida por sua localização central na zona urbanizada e representatividade do ambiente litorâneo típico de Florianópolis. Para representar o ambiente rural, a estação meteorológica da EPAGRI foi selecionada. Ela está situada no norte da Ilha de Santa Catarina, na Estação Ecológica "Carijós", dominada por manguezais. A estação fica a cerca de 3,5 km do mar e a 14 km do centro da cidade.

**Figura 2** - Estações meteorológicas de referência na área conurbada de Florianópolis entre agosto de 2018 e julho de 2019.

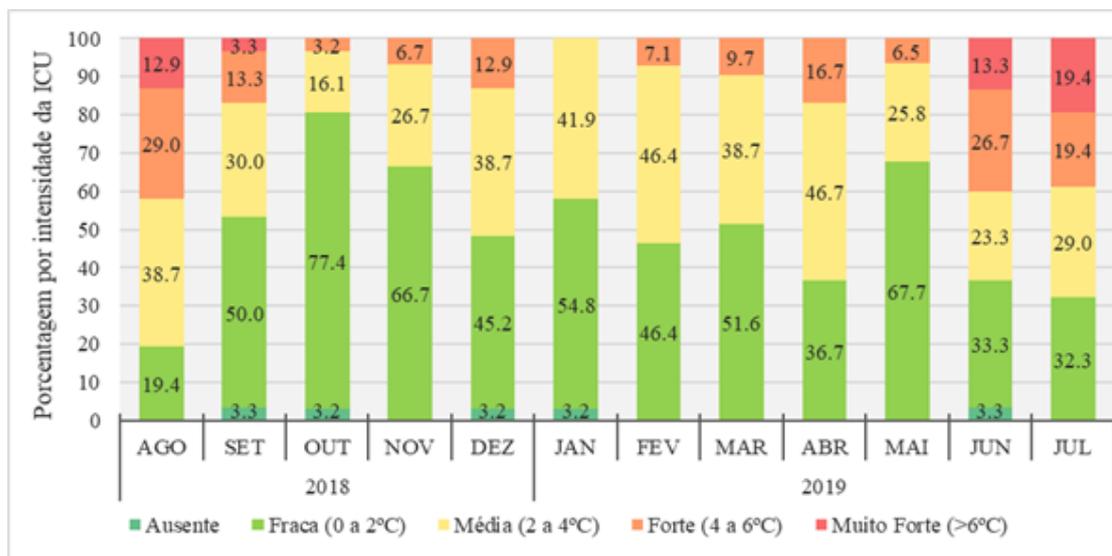


Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

No período analisado, a média da intensidade da ICU durante o ano foi de 2,4 °C. A maior diferença entre as mínimas diárias (ICU máxima) ocorreu em agosto de 2018, registrando 7,3 °C, classificada como magnitude muito forte. Nas médias mensais, as intensidades mais altas foram observadas nos meses de inverno (média de 3,4 °C), seguindo a ordem decrescente: agosto de 2018, junho e julho de 2019. Os maiores detalhes da relação de sazonalidade e ICU podem ser observadas na Figura 3.

Esta análise revela que durante as estações do ano, no inverno, cerca de 1,5 dias em uma dezena podem ter uma magnitude da ICU acima de 6 °C, enquanto que, nas outras estações, a probabilidade é nula, exceto na primavera, onde essa relação é de 0,1. A maior parte das ocorrências da ICU muito forte, cerca de 93%, acontece nos meses inverniais, enquanto 7% ocorrem na primavera. Em relação à classe de menor magnitude, a "fraca", cerca de 6,5 dias a cada 10 na primavera podem ter uma intensidade de ICU inferior a 2 °C, diminuindo para 2,8 dias no inverno. Ao longo do ano, há 33% de probabilidade da ICU fraca ocorrer na primavera, 27% no outono, 25% no verão e 15% no inverno.

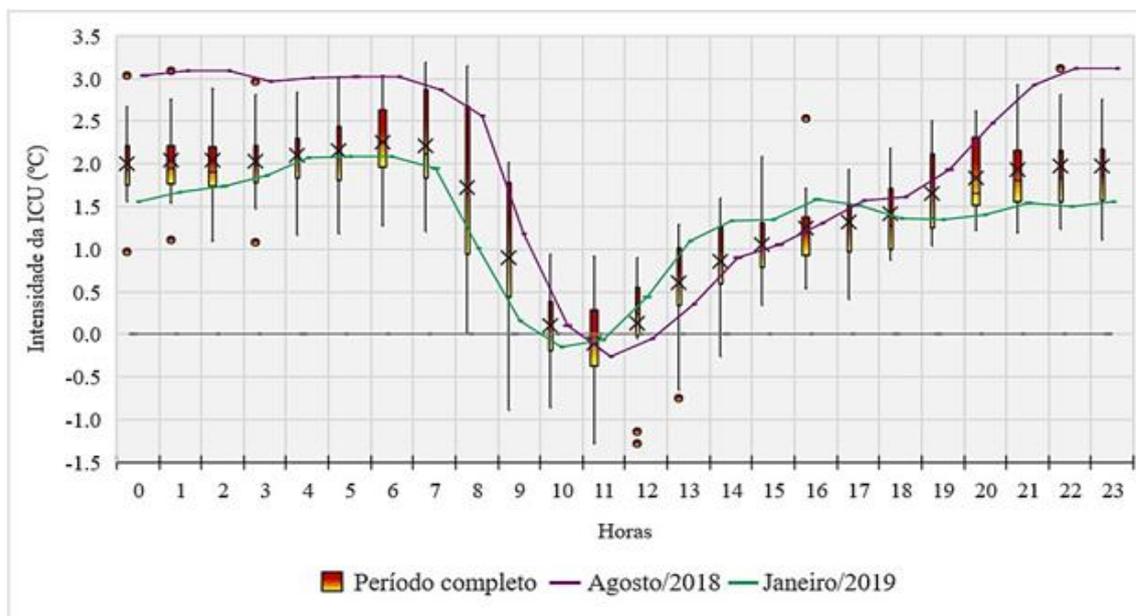
**Figura 3** - Porcentagem de ocorrência mensal de cada classe de magnitude de ICU na área conurbada de Florianópolis entre agosto de 2018 e julho de 2019.



Fonte: Adaptado de Rocha, 2021.

Ao examinar a variação diária da ICU (Figura 4), fica evidente que as intensidades mais altas das ilhas de calor ocorreram predominantemente durante a noite. A diferença entre a temperatura urbana e a temperatura rural ultrapassa 1,5 °C às 20h, mantendo-se acima desse limiar até as 8h da manhã. Observa-se um pico em torno das 6h (2,1 °C) e, ocasionalmente, valores superiores a 3 °C são registrados por volta das 7h da manhã. Além disso, é perceptível que a intensidade da ICU é maior no inverno (agosto) em comparação ao verão (janeiro).

**Figura 4** - Intensidade da ICU na área conurbada de Florianópolis em 2018-2019 e valores médios para agosto (roxo) e janeiro (verde).



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

## A CONFIGURAÇÃO ESPACIAL DA ICU

Através da modelagem climática, a espacialização da ICU proporciona um entendimento mais abrangente das variações térmicas entre áreas urbanas e rurais, indo além das medições fixas ou móveis frequentemente empregadas. É evidente que as abordagens de representação do clima urbano estão em constante aprimoramento, com diversos autores enfatizando a importância da integração de elementos espaciais nas formulações dos modelos.

Dentro desse contexto, adotou-se a abordagem de modelagem climática utilizando a técnica de regressão múltipla, inspirada nos trabalhos de Foissard (2015), Amorim *et al.* (2015) e Gomes (2017). Nessa abordagem, as disparidades térmicas (pontualmente observadas) foram tratadas como a variável dependente, enquanto as distintas categorias de uso do solo (dados contínuos) serviram como variáveis explicativas. Por meio desse método, foi possível realizar uma estimativa abrangente da ICU.

Na fase de modelagem, foram selecionados dois dias representativos: o dia 05/09/2018 para exemplificar um período de alta precipitação e o dia 11/07/2019 para ilustrar uma menor ocorrência de chuva. Com base nos resultados obtidos na regressão, optou-se por apresentar os modelos durante a noite, abrangendo o período das 18h às 9h, com intervalos de 3 horas.

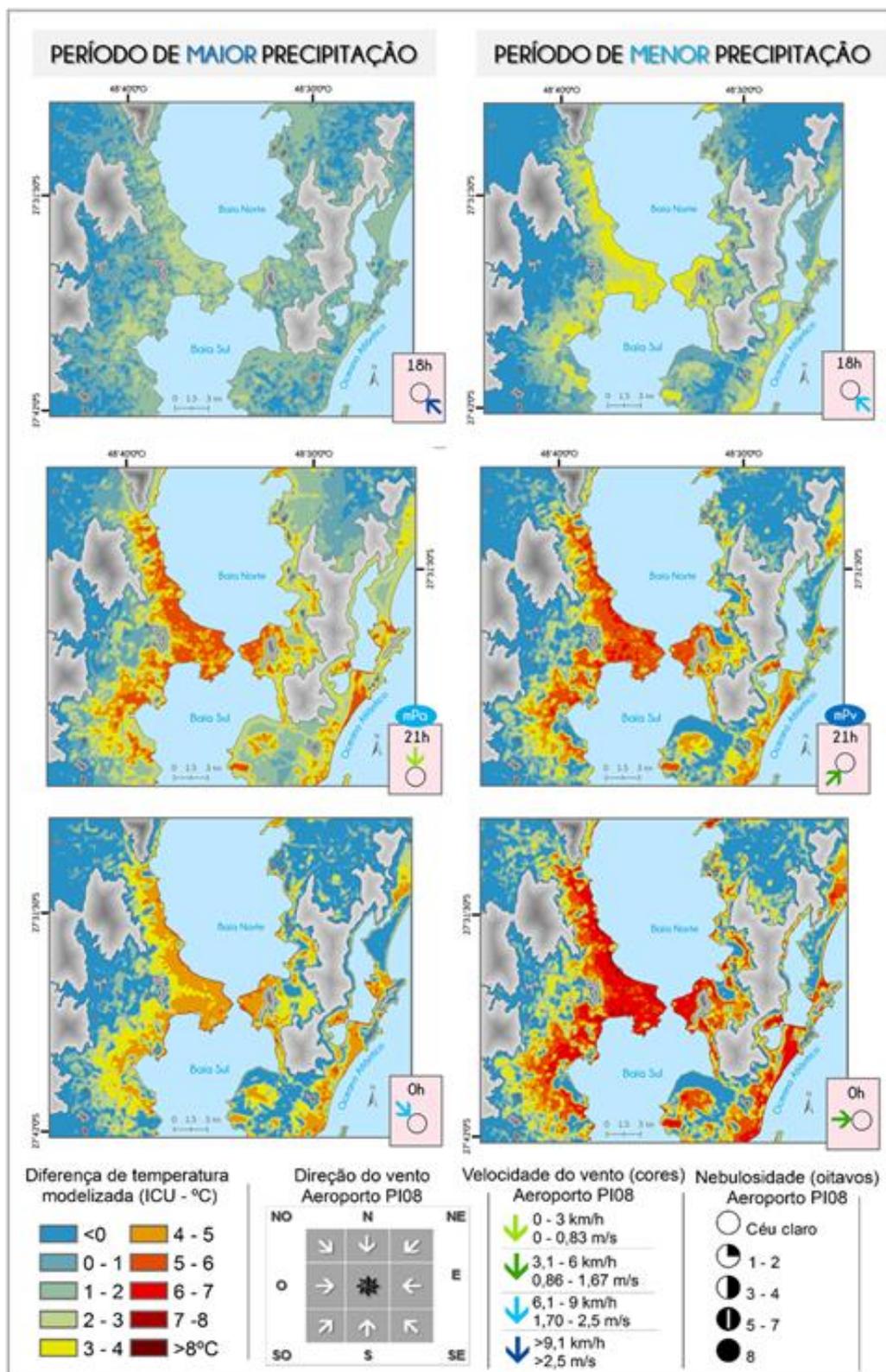
As figuras 5 e 6 exibem os resultados da modelagem climática, onde, para fins de comparação, os modelos do período de maior precipitação estão posicionados à esquerda, enquanto os modelos do período de menor precipitação estão à direita.

Quanto à situação sinótica, os dias 05 e 06/09/2018 foram seguidos por cinco dias de chuva sob o domínio da FPA, acumulando 111 mm de precipitação. Nos dias 11 e 12/07/2019, que representam um período de menor precipitação, a mPa já estava presente na área há oito dias, sendo classificada no dia 11 como mPv (Massa Polar Velha). Pelas figuras 5 e 6, observa-se que em ambas as condições há a formação da ICU, no entanto, com características distintas.

Às 18h, no dia representativo do período chuvoso, foram observados traços da ICU com baixa magnitude, especialmente nas regiões próximas ao mar, que foram estimadas como as mais quentes. Por outro lado, durante o período mais seco, os contornos das penínsulas continental e insular se destacaram com uma intensidade de ICU entre 3 e 4 °C.

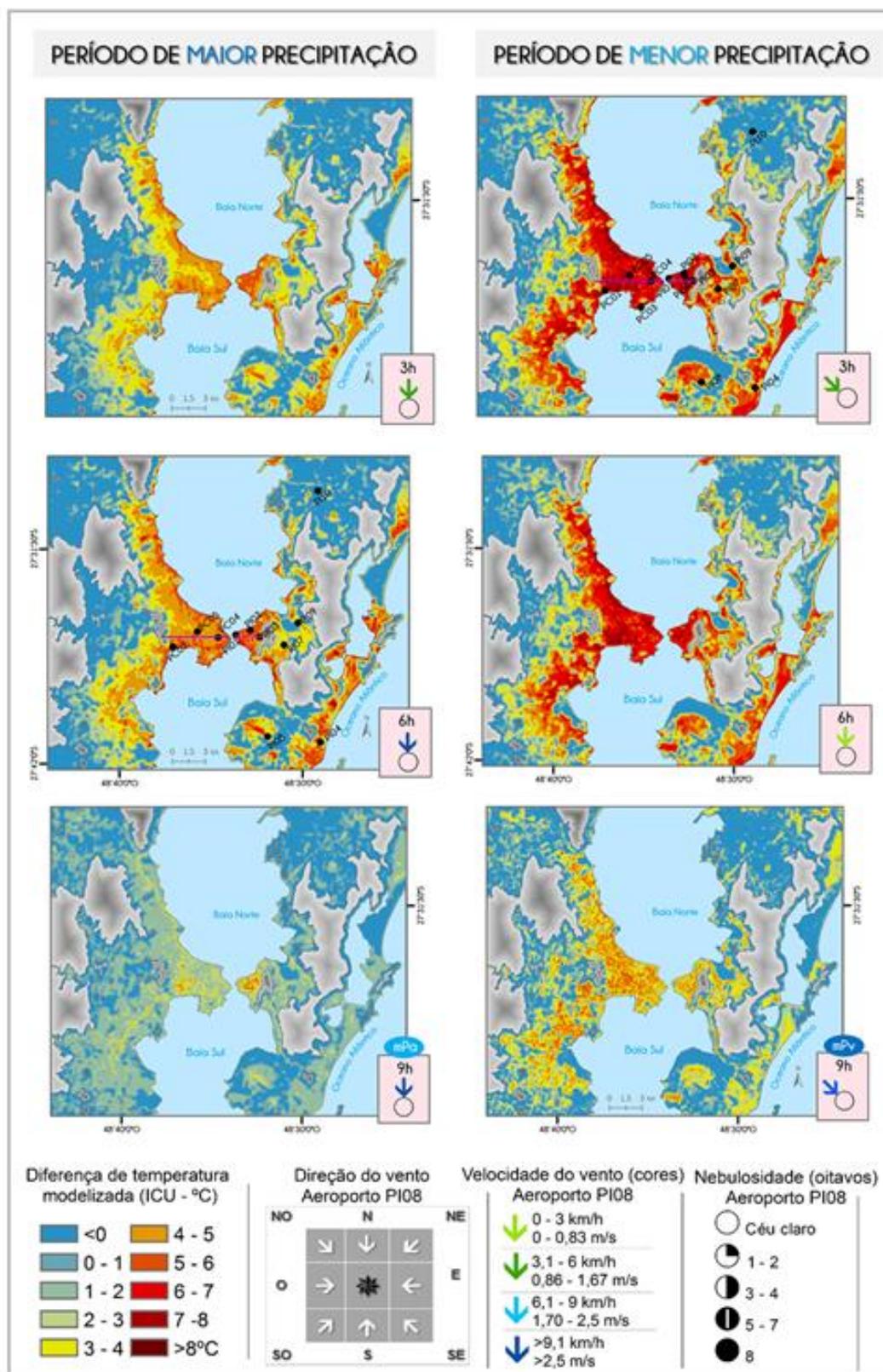
Durante o período mais chuvoso, às 21h do dia 05/09, é notável o aumento significativo na diferença térmica da ICU, refletindo nos contornos urbanos da área conurbada e atingindo magnitude de 5 a 6 °C. Essa configuração térmica se mantém até as 6h do dia 06/09, sugerindo estabilidade na intensidade da ICU durante esse intervalo.

**Figura 5** - Modelagem climática da ICU na área conurbada de Florianópolis nos dias 05 e 06/09/2018 (período de maior precipitação) e 11 e 12/07/2019 (período de menor precipitação).



Fonte: Adaptado de Rocha, 2021.

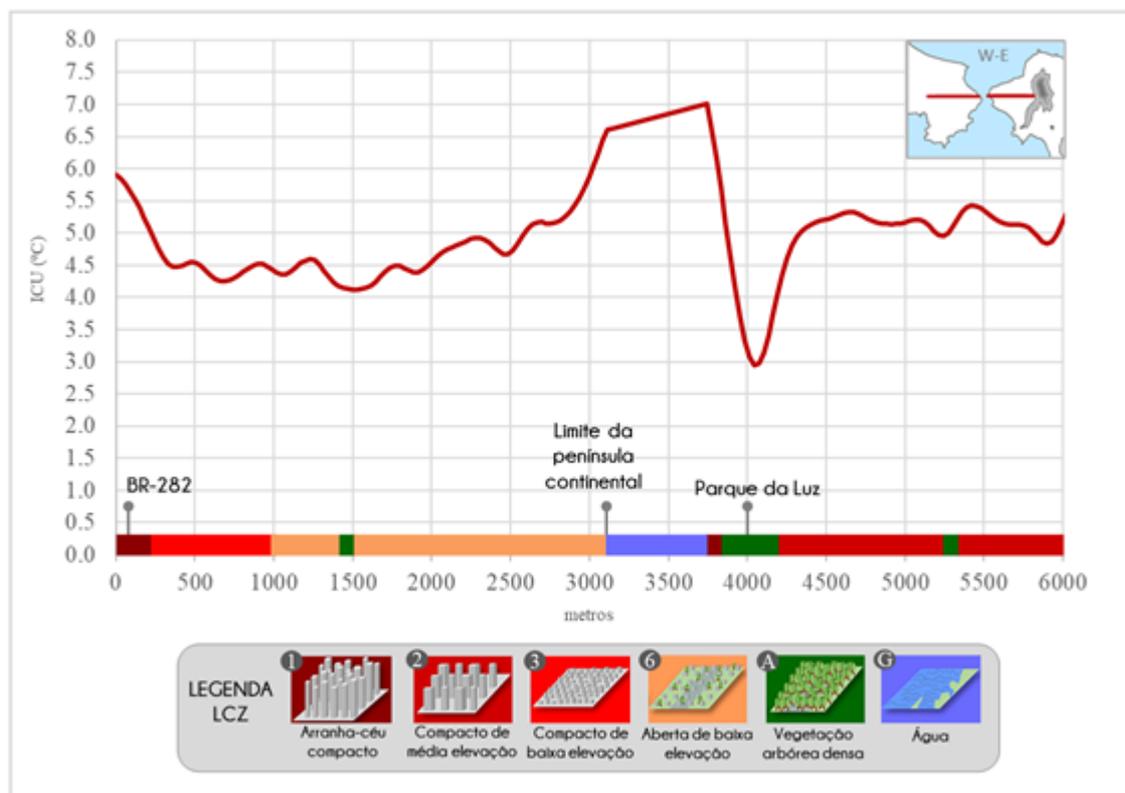
**Figura 6** - Modelagem climática da ICU na área conurbada de Florianópolis nos dias 05 e 06/09/2018 (período de maior precipitação) e 11 e 12/07/2019 (período de menos precipitação).



Fonte: Adaptado de Rocha, 2021.

Ao considerar o modelo que apresenta as maiores intensidades da ICU, às 6h do dia 06/09, traçou-se um perfil térmico linear (Figura 7) nas penínsulas do continente e da ilha, com valores entre 3 e 7 °C. Observou-se que essas áreas centrais densamente urbanizadas apresentaram uma relativa estabilidade da intensidade da ICU nesses horários.

**Figura 7** - Perfil térmico linear das penínsulas continentais e insular para o modelo do dia 06/09/2018 às 6h, representativo para o período chuvoso.

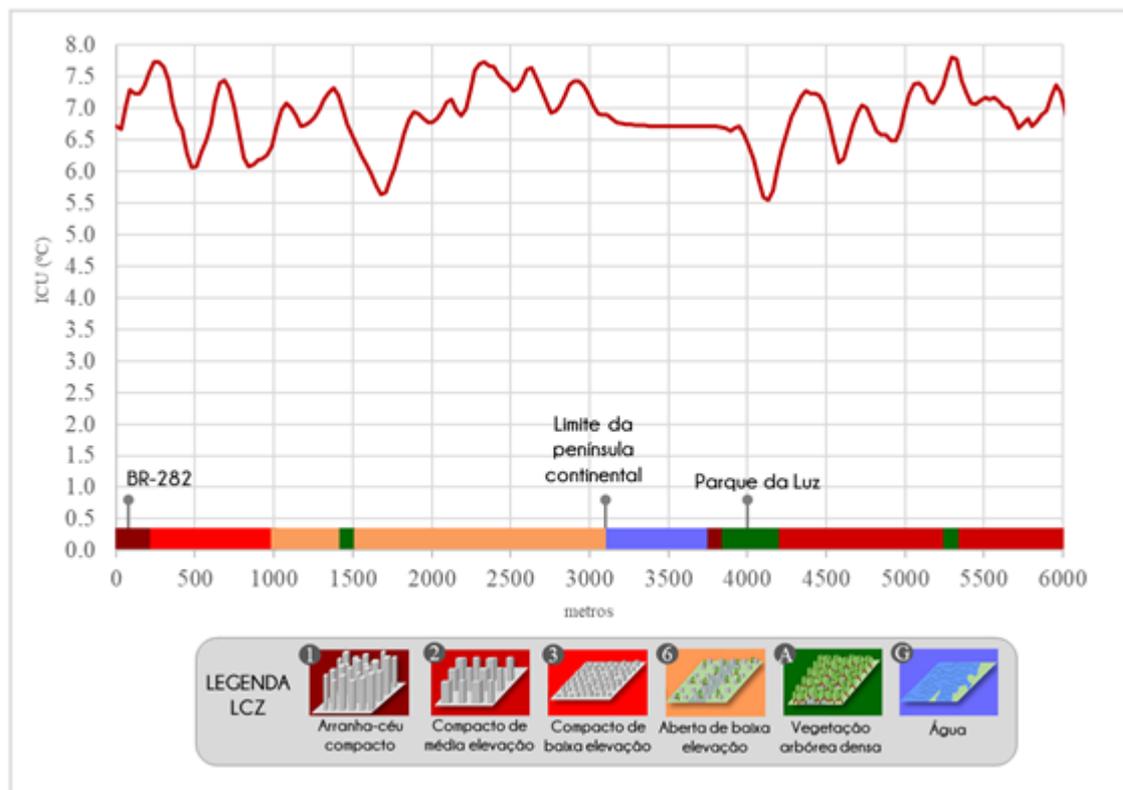


Fonte: Adaptado de Rocha, 2021 e Demuzere *et al.*, 2021.

Por outro lado, no período menos chuvoso, observa-se que o padrão espacial das 21h se repete às 0h, 3h e 6h do dia 12 (figuras 5 e 6), mas a magnitude da ilha de calor se acentua consideravelmente, atingindo valores superiores a 7 °C em diversos pontos tanto da ilha quanto do continente.

A média mais alta da ICU ocorre às 3h do dia 12/07 e, ao analisar os perfis de temperatura nas duas penínsulas (Figura 8), verifica-se uma magnitude da ICU variando entre 6 e 8 °C, com algumas variações. É interessante notar o perfil insular, onde o contraste térmico diminui notavelmente, em torno de 400 metros da costa, coincidindo com a presença de um parque arborizado (Parque da Luz). Segundo o modelo, essa área apresenta uma diminuição de 4 °C na magnitude da ICU, o que pode ser atribuído à vegetação presente nesse local.

**Figura 8** - Perfil térmico linear das penínsulas continentais e insular para o modelo do dia 11/07/2019 às 3h, representativo para o período de menor precipitação.



Fonte: Adaptado de Rocha, 2021 e Demuzere *et al.*, 2021.

Comparando ambos os períodos, percebe-se que as características da ICU variam significativamente de acordo com as condições de precipitação e sinóticas. Enquanto o período mais chuvoso demonstra uma estabilidade relativa e uma intensidade menos pronunciada da ICU, o período menos chuvoso se destaca pela intensificação da magnitude da ilha de calor, especialmente nas primeiras horas do dia.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo da Ilha de Calor Urbana (ICU) na área conurbada de Florianópolis revelou as complexidades e padrões espaciais que influenciam as variações térmicas bem como o clima urbano. A área analisada, localizada em um ambiente costeiro, apresenta características climáticas únicas que moldam a manifestação da ICU. A interação entre a maritimidade, a topografia acidentada da ilha, e a urbanização descontínua, mas concentrada nas áreas centrais, resulta em uma configuração peculiar da ilha de calor.

Durante o período analisado, foi evidenciado que a intensidade da Ilha de Calor Urbana (ICU) varia ao longo das estações do ano, apresentando um perfil mais acentuado durante o inverno, e notavelmente menos pronunciado no verão. Esse padrão sazonal é, em grande parte, influenciado pelas condições atmosféricas que favorecem a estabilidade do ar e a redução da cobertura de nuvens durante as noites de inverno, contribuindo para um aumento na diferença de temperatura entre áreas urbanas e não urbanas.

Em relação à espacialidade da ICU, a modelagem climática permitiu uma compreensão mais ampla do fenômeno, destacando sua relação com fatores como o uso do solo e a distância em relação ao mar. As diferenças entre os períodos chuvoso e menos chuvoso revelaram que as características da ICU variam em resposta às condições meteorológicas e sinóticas. Enquanto no período chuvoso a ICU se manifestou com intensidades mais baixas e estáveis, no período menos chuvoso ocorreu o inverso, uma intensificação da magnitude, especialmente nas primeiras horas do dia.

A presença de uma área urbana em uma região costeira intensifica a complexidade das interações entre os fatores climáticos, a topografia e a urbanização, resultando em padrões únicos de ICU. A compreensão dessas complexidades é fundamental para o planejamento urbano e para mitigar os impactos negativos associados às variações térmicas extremas. A análise das condições climáticas e a configuração espacial da ICU na área conurbada de Florianópolis contribuem para o entendimento das dinâmicas climáticas nas cidades costeiras e para o desenvolvimento de estratégias de adaptação e resiliência em um contexto de mudanças climáticas em curso.

Além disso, destaca-se que, ao focar em cidades de médio porte, os resultados obtidos têm implicações que vão além da própria região, oferecendo informações relevantes para outras áreas urbanas semelhantes. Essa abordagem não apenas enriquece o campo da climatologia urbana, mas também ajuda a preencher uma lacuna de conhecimento nas cidades de médio porte que, por muito tempo, foram poucas exploradas nos estudos de climatologia urbana.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao programa CAPES/COFECUB - processo: 88881.191765/2018-01; Sh 941/19 – projeto: CiCIAMEn (Cidades, Clima e Vegetação: Modelagem e Políticas Públicas Ambientais), pelo apoio financeiro.

## REFERÊNCIAS

- AMORIM, M.; DUBREUIL, V.; CARDOSO, R. Modelagem espacial da ilha de calor urbana em Presidente Prudente (SP), Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 16, p. 29-45, 2015.
- DEMUZERE, M.; KITNER, J.; BECHTEL, B. LCZ Generator: a web application to create Local Climate Zone maps. **Frontiers in Environmental Science**, v. 9, p. 637455, 2021.
- DUBREUIL, V. *et al.* Os tipos de climas anuais no Brasil: uma aplicação da classificação de Köppen de 1961 a 2015. **Confins. Revue franco-brésilienne de géographie/Revista franco-brasileira de Geografia**, n. 37, 2018.
- EMBRATUR - Agência Brasileira de Promoção Internacional do Turismo. **Florianópolis, Porto Seguro e Salvador estão entre os dez destinos mais procurados por estrangeiros**. Publicado em: 29/12/2022. Disponível em: <https://embratur.com.br/2022/12/29/florianopolis-porto-seguro-e-salvador-estao-entre-os-dez-destinos-mais-procurados-por-estrangeiros/>. Acesso em: 1 ago. 2023.
- EMMANUEL, R.; ROSENLUND, H.; JOHANSSON, E. Urban shading—a design option for the tropics? A study in Colombo, Sri Lanka. **International Journal of Climatology**, 27(14), 1995-2004, 2007.
- FERNÁNDEZ GARCÍA, F. **Manual de climatología aplicada: clima, medio ambiente y planificación**. Madrid: Editorial síntesis, S.A., 1996, 285 p.
- FOISSARD, X. **L'îlot de chaleur urbain et le changement climatique: application à l'agglomération rennais**. Géographie. Université Rennes 2, 2015. Disponível em: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01381999>. Acesso em: 1 ago. 2023.
- GARTLAND, L. **Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. São Paulo: Oficina de textos, 2010.
- GEDZELMAN, S. D. *et al.* Mesoscale aspects of the urban heat island around New York City. **Theoretical and Applied Climatology**, 75(1), 29-42, 2003.
- GLAVOVIC, B. C. *et al.* Cross-Chapter Paper 2: Cities and Settlements by the Sea. In: PÖRTNER, H.-O. *et al.* (ed.). **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2022. p. 2163-2194. Disponível em: [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGII\\_CCP2.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_CCP2.pdf). Acesso em: 1 ago. 2023.
- GOMES, W. P. **Características da temperatura na zona costeira: análise do clima urbano em Ubatuba-SP**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho” - FCT/UNESP. Presidente Prudente, 2017.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Panorama do Censo Demográfico 2022**. Disponível em: <https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/>. Acesso em: 1 ago. 2023.
- LOPES, A. *et al.* The influence of the summer sea breeze on thermal comfort in Funchal (Madeira). A contribution to tourism and urban planning. **Meteorologische Zeitschrift**, 20(5), 553–564, 2012.
- LOPES, A. *et al.* Lisbon Urban Heat Island Updated: New Highlights about the Relationships between Thermal Patterns and Wind Regimes. **Advances in Meteorology**, 1–11, 2013.

- MENDONÇA, M. **A dinâmica têmporo-espacial do clima subtropical na região conurbada de Florianópolis**. Tese (Doutorado em Geografia Física) Programa de Pós-graduação em Geografia Física. Universidade de São Paulo, 2002.
- MESTAYER, P. *et al.* The urban boundary layer field experiment over Marseille. UBL/CLU-ESCOMPTE: Experimental set-up and first results. **Bound. Layer Meteor.**, 2003.
- MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e clima urbano**. Série Teses e Monografias, n. 25. Instituto de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1976. 181 p.
- MONTEIRO, C. A. F. Teoria e clima urbano: um projeto e seus caminhos. *In*: MONTEIRO, C. A. F.; MENDONÇA, F. (org.). **Clima Urbano**. São Paulo: Contexto, 2003. p. 9–68.
- NICOLODI, J.; PETERMANN, R. Mudanças Climáticas e a Vulnerabilidade da Zona Costeira do Brasil: Aspectos ambientais, sociais e tecnológicos. *Revista de Gestão Costeira Integrada - Journal of Integrated Coastal Zone Management* [en línea], 10(2), p. 151-177, 2010. ISSN: [sin información]. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=388340129001>. Acesso em: 1 ago. 2023.
- OKE, T. R. *et al.* Urban Heat Island. *In*: **Urban Climates**. Cambridge: Cambridge University Press, p. 197-237, 2017.
- ONU HABITAT - Organização das Nações Unidas para Assentamentos Humanos Habitat. Envisioning Future Cities: **World Cities Report 2022**. United Nations. Disponível em: <https://unhabitat.org/wcr/>. Acesso em: 1 ago. 2023.
- PAPANASTASIOU, D. K. *et al.* Temperature, comfort and pollution levels during heat waves and the role of sea breeze. **International Journal of Biometeorology**, 54(3), 307-17, 2010.
- PBMC - Programa Brasileiro de Mudanças Climáticas. **Impacto, vulnerabilidade e adaptação das cidades costeiras brasileiras às mudanças climáticas**: Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Edição organizada por MARENGO, J. A.; SCARANO, F. R. COPPE - UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil, 2016. 184 p. Disponível em: [https://ppgoceano.paginas.ufsc.br/files/2017/06/Relatorio\\_DOIS\\_v1\\_04.06.17.pdf](https://ppgoceano.paginas.ufsc.br/files/2017/06/Relatorio_DOIS_v1_04.06.17.pdf). Acesso em: 1 ago 2023.
- ROCHA, G. S.; DUBREUIL, V.; MENDONÇA, F. A. A estabilidade atmosférica e a ilha de calor urbana na área conurbada de Florianópolis-SC. **Revista Brasileira de Climatologia**. v. 27, dec. 2020. ISSN 2237-8642. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/76237>. Acesso em: 1 ago. 2023.
- ROCHA, G. S. **A ilha de calor entre mares**: área conurbada de Florianópolis-SC. 2021. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Paraná, 2021.
- SEZERINO, M. L.; MONTEIRO, C. A. F. O campo térmico na cidade de Florianópolis: primeiros experimentos. **Geosul**, v. 9, Ano V, p. 20–60, 1990.
- VILLAÇA, Flávio. **Espaço Intra-Urbano no Brasil**. São Paulo: Estúdio Novel, 2001.

## AS ILHAS DE CALOR URBANAS NAS CIDADES DA FRENTE PIONEIRA DA AMAZÔNIA MATO-GROSSENSE

*Vincent Dubreuil  
Damien Arvor  
Vincent Nedelec  
Jean Nabucet  
Charlotte Brabant  
Carlos Antonio da Silva Junior  
João Lucas Della Silva  
Laurimar Vendrusculo  
Bruno Cardoso  
Marco Antonio Camillo de Carvalho  
Thiago Rizzi  
Isabelle Bonini  
Luis Flávio de Araújo  
Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim*

### INTRODUÇÃO

As questões climáticas e ambientais na Amazônia são numerosas: desmatamento, perda de biodiversidade, sequestro/emissão de CO<sub>2</sub>, incêndios, *feedback* floresta-clima, e redução da estação chuvosa. Todos estes são assuntos de pesquisa que muitas vezes ocupam o centro das atenções da mídia e são o assunto de inúmeras publicações (Nobre *et al.*, 2021).

Porém, esquecemos que a Amazônia também é uma “floresta urbanizada”, região onde a maior parte da população vive em cidades (Becker, 1995). De fato, essa região tem experimentado um crescimento prodigioso desde os programas de colonização, particularmente nas frentes pioneiras do sul e leste da Amazônia brasileira (região também chamada de “Arco do Desmatamento”). Assim, ao longo da rodovia federal BR-163, em Mato Grosso, diversas cidades foram fundadas em meados da década de 1970 (Clairay e Dubreuil, 2002) e ainda hoje são cidades com um forte crescimento populacional.

A extensão espacial destas cidades provoca, como em outros locais, uma modificação dos estados de superfície que tem repercussões no balanço radiativo local (Oke *et al.*, 2017; Amorim e Dubreuil, 2017). O aumento de áreas construídas e impermeabilizadas, e a redução de áreas florestais e de vegetação em geral, produzem o aquecimento local, na forma de ilha de calor urbana (ICU). No entanto, por se tratarem de cidades com expansão recente, têm sido

pouco sujeitas ao monitoramento climático. Além disso, na região amazônica as atenções dos pesquisadores estão mais voltadas para os impactos do desmatamento no clima. Por localizarem-se em uma região com temperaturas elevadas e considerando as taxas de crescimento dessas cidades pioneiras, com formas de habitação muitas vezes precárias (Marafon *et al.*, 2014; Borja, 2018), os desafios em termos de conforto térmico para os residentes estão muito presentes (França *et al.*, 2016), mas ainda desconsiderados pelas autoridades públicas (Sanches *et al.*, 2022).

Com base em medições realizadas em 2020, a partir de pares de estações automáticas (urbanas/rurais), este estudo se propõe a quantificar a intensidade e frequência das ICUs em quatro cidades (Sinop, Alta Floresta, Sorriso e Vera) localizadas no estado de Mato Grosso, Brasil. Pretende-se, também, verificar se há relação entre o tamanho da cidade e a intensidade das ICUs (Oke *et al.*, 2017) nessa região do sul da Amazônia.

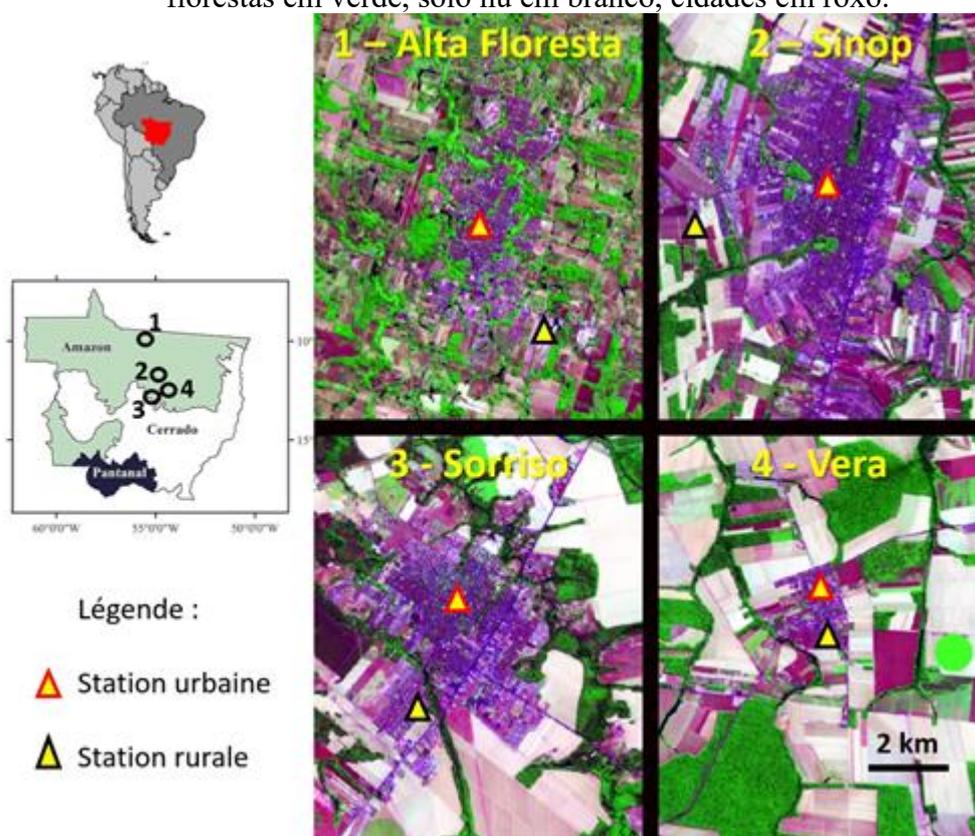
## **REGIÃO DE ESTUDO, DADOS E MÉTODOS**

O clima urbano das cidades amazônicas ainda é pouco estudado. O trabalho pioneiro de Maitelli e Wright (1996) em Manaus, assim como o trabalho mais recente de Oliveira *et al.* (2020) em Belém, favoreceu as grandes cidades históricas. Cidades menores e criadas mais recentemente têm sido objeto apenas de estudos parciais, baseados principalmente em métodos de transecto móvel, como em Sinop (Dubreuil *et al.*, 2003; Gheno *et al.*, 2012; França, 2018; Araujo, 2021) ou Sorriso (Dubreuil *et al.*, 2010; França e Gomes, 2014). Estações fixas foram utilizadas na região de Alta Floresta (Dubreuil *et al.*, 2010) ou Sinop (Rocha *et al.*, 2015) para mostrar o impacto das mudanças no uso da terra no clima local. Porém, em geral, a ausência de medições contínuas limita o conhecimento acerca da dinâmica temporal diurna e sazonal da ICU e não permite comparar as cidades entre si.

As cidades selecionadas para este estudo estão localizadas na metade norte do estado de Mato Grosso no Brasil (Figura 1) e foram fundadas entre 1974 (Sinop, Vera) e 1976 (Alta Floresta, Sorriso) por empresas privadas de colonização. Localizados no extremo sul da Amazônia, esses municípios ainda possuem parte significativa de sua superfície florestada, sendo 30% em Sorriso e 47% em Alta Floresta (Mapbiomas, 2021). Nessa região, o uso dominante da terra é a agricultura, com distinção em Alta Floresta onde predominam as pastagens (49% do município). Nos outros três predominam as lavouras (principalmente soja, algodão e milho). Em Sorriso, 60% da superfície possui lavoura, sendo este o maior produtor de soja do Brasil.

Segundo os dados do IBGE (2021), a população desses municípios continua crescendo de forma desigual: Sinop (146.005 habitantes) e Sorriso (92.769 habitantes) são cidades muito dinâmicas e ligadas à expansão do agronegócio, enquanto que Alta Floresta (51.959 habitantes) e, principalmente, Vera (11.402 habitantes) ficaram com crescimento urbano mais modesto. Os dados do Mapbiomas de 2020 apresentam áreas urbanizadas de 7.861 hectares em Sinop, 3.750 hectares em Sorriso, 2.062 hectares em Alta Floresta e 376 hectares em Vera.

**Figura 1** - Localização dos municípios estudados em Mato Grosso. À direita, imagens Landsat 8 de julho de 2020, (composição colorida 4, 5, 6, mesmas escalas e legendas): florestas em verde, solo nu em branco, cidades em roxo.



Fonte: Adaptado de Dubreuil *et al.*, 2022.

Os dados climáticos utilizados neste estudo correspondem a registros realizados ao longo de 2020 por uma rede de estações automáticas como DAVIS-Instruments, Vantage-Pro-2. Todas as estações foram instaladas da mesma forma para realizar medições, em intervalos horários a 2 metros acima do solo (Figura 2). Os parâmetros aferidos são temperatura, umidade relativa, pressão atmosférica, vento (velocidade e direção), precipitação e, em certas estações, radiação solar.

**Figura 2** - Estações utilizadas para este estudo em Alta Floresta (a), Sinop (b), Sorriso (c) e Vera (d) - estações em área urbana à esquerda e estações em área rural à direita.



Fonte: Vincent Dubreuil, 2019.

Dados de três estações, sendo uma urbana e duas da periferia rural foram gerados em Vera e Sorriso, enquanto em Sinop e Alta Floresta foram instaladas duas estações urbanas e

duas rurais. Neste último caso, os dados faltantes (representando menos de 10% das observações) poderiam ser preenchidos com dados da estação mais próxima.

Algumas séries apresentaram lacunas devido às condições sanitárias no Brasil durante o ano de 2020 (nesta região o INMET também não conseguiu continuar mantendo as estações oficiais). As distâncias entre as estações do centro da cidade e as da periferia são entre 4 e 5 quilômetros, exceto em Vera, onde, devido ao tamanho da cidade, distam apenas 1,4 quilômetros.

Por fim, para as quatro cidades, a diferença de altitude entre a estação urbana e rural não ultrapassa vinte metros. Assim, quaisquer diferenças de temperatura que possam ser observadas entre estações devem estar apenas ligadas às condições da superfície, ou seja, à urbanização.

Todos os locais de estudo estão localizados em clima tropical com estações alternadas (tipo Aw de Köppen de acordo com Mota *et al.*, 2013 ou Dubreuil *et al.*, 2018) com uma estação seca de maio a setembro e outra estação chuvosa e nublada de outubro a abril. O ano de 2020 foi um ano próximo da média de precipitação em Alta Floresta e Sinop (em torno de 2.000 mm), mas deficitário em Vera e Sorriso (1.400 mm).

As temperaturas médias são muito próximas entre as estações: entre 26 e 27 °C para as médias, sendo as temperaturas mínimas médias anuais entre 20 e 21 °C e valores absolutos menores em julho, enquanto que as máximas variam entre 31 e 32 °C, com valores de temperaturas mais elevadas em setembro. As condições de baixa nebulosidade durante a estação seca resultam em amplitude térmica diurna maior do que durante a estação chuvosa.

## **RESULTADOS: UMA DIFERENÇA URBANO-RURAL, ESPECIALMENTE ACENTUADA NA ESTAÇÃO SECA**

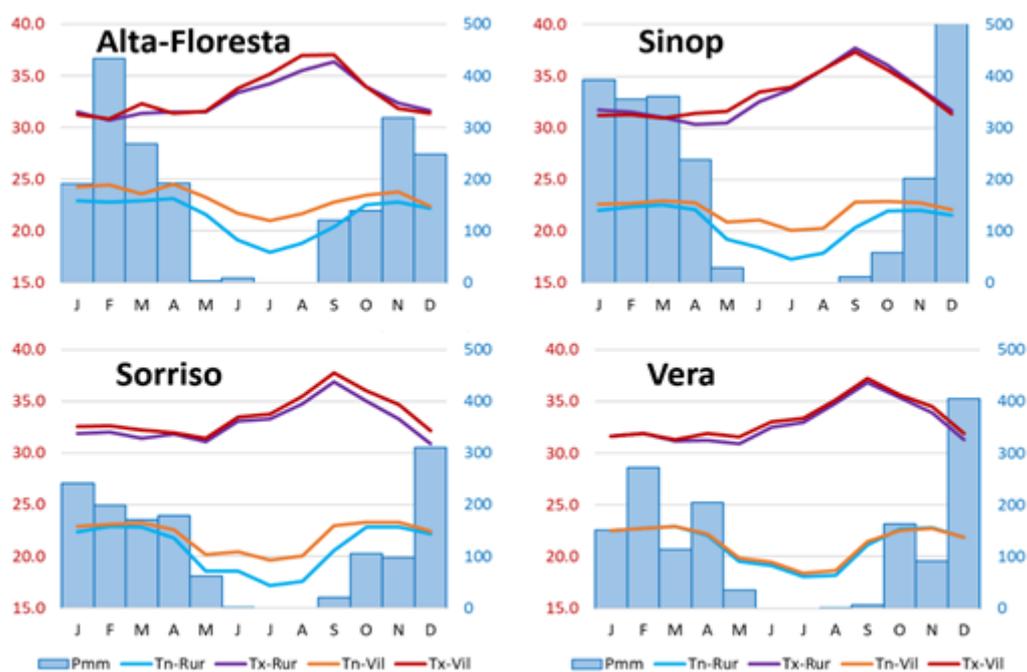
As medições do ano de 2020 mostram diferenças de temperatura entre estações urbanas e rurais que permanecem modestas quando se considera o nível anual, sempre inferiores a um grau, exceto em Sinop (1,09 °C). A diferença é sempre mais acentuada para os valores mínimos médios (entre 1,2 e 1,6 °C) do que para os máximos (0,3 a 0,7 °C), exceto em Vera, onde a diferença cidade-rural é ligeiramente superior para os máximos. O efeito da ilha de calor urbana é, portanto, muito acentuado, mas apenas se reflete modestamente nos valores anuais.

O detalhe sazonal traz nuances importantes a esse quadro (Figura 3). Na verdade, as diferenças nas temperaturas entre a cidade e o campo diminuem muito claramente na estação chuvosa, tanto para os máximos como para os mínimos: para todas as estações, a diferença é de

apenas alguns décimos, por vezes insignificantes. A diferença entre as temperaturas mínimas só aumenta realmente (mais de 1,5 °C) de maio a setembro e atinge amplitude máxima em julho, quando se situa entre 2 e 3 °C, sempre com exceção de Vera, onde a diferença média nunca ultrapassa os 0,5 °C. As condições de baixa pluviosidade e nebulosidade, bem como a menor velocidade dos ventos da estação seca nesta região, são condições claramente favoráveis para o estabelecimento de situações de ilhas de calor urbanas.

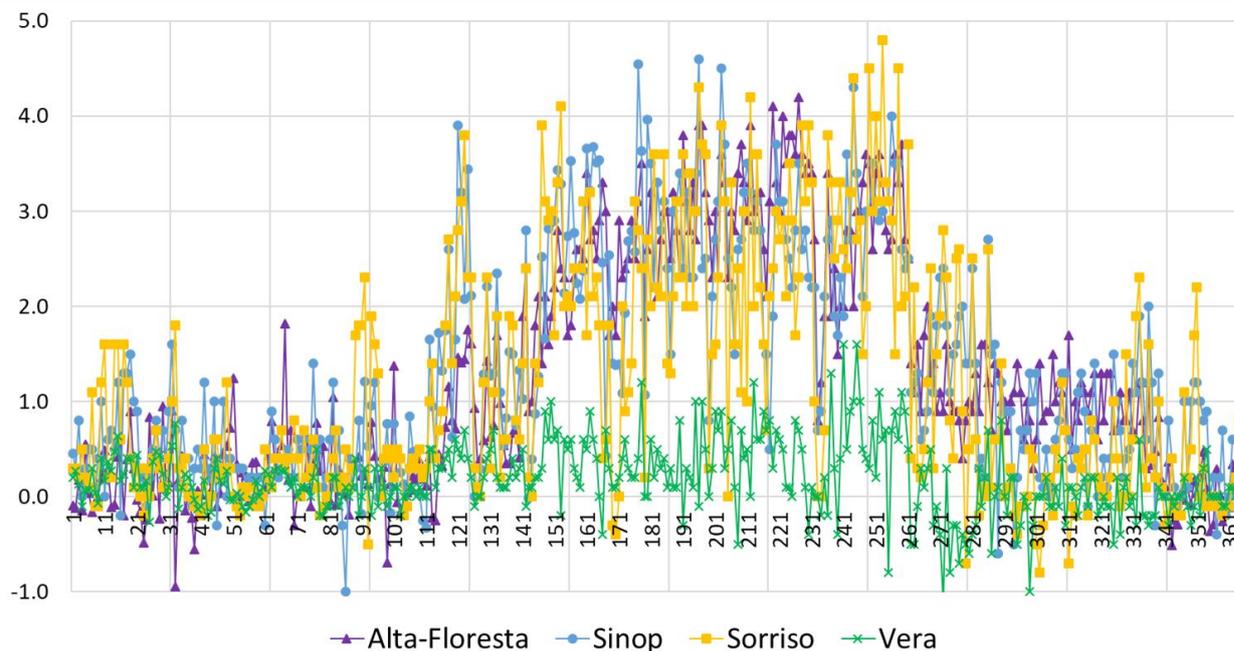
As intensidades diárias das ICUs permitem especificar a dinâmica sazonal do fenômeno (Figura 4). Assim, para as três principais cidades, as situações moderadas de ICUs (mais de 2 °C de diferença entre a cidade e o campo) representam cerca de uma centena de observações, todas entre maio e setembro. Situações com ICUs fortes (mais de 4 °C, em menos de 10 observações diárias para cada cidade) foram verificadas de junho a setembro em Sinop e Sorriso, e apenas em agosto em Alta Floresta. Assim, o meio da estação seca é, portanto, a época do ano mais favorável para a ocorrência de ICUs moderadas e fortes.

**Figura 3** - Temperaturas médias mínimas (Tn) e máximas (Tx) e precipitação mensal (Pmm) em 2020 em Alta Floresta, Sinop, Sorriso e Vera; estações urbanas (Vil) e rurais (Rur).



Fonte: Adaptado de Dubreuil *et al.*, 2022.

**Figura 4** - Intensidades diárias de ilhas de calor urbanas (°C) de 1º de janeiro até 31 de dezembro de 2020 em Alta Floresta, Sinop, Sorriso e Vera.



Fonte: Adaptado de Dubreuil *et al.*, 2022.

No caso de Sinop, a dinâmica horária e sazonal da ICU é bastante clara (Figura 5), ela atinge sua intensidade máxima por volta das 20h (1,6 °C em média) no meio da estação seca, quando atingiu um valor de 3,2 °C (julho). Essa ICU permanece em níveis elevados durante toda a noite e desaparece por volta das 8-9h (horário local). Por outro lado, a diferença de temperatura noturna entre a cidade e o campo permanece inferior a 1 °C de novembro a março. Observa-se, também, que, na maioria dos meses, a temperatura é um pouco mais baixa na cidade durante o dia. Das 18h às 19h, por outro lado, a ICU se reforma muito rapidamente (Amorim e Dubreuil, 2017).

### **RESULTADOS: UMA DIFERENÇA URBANO-RURAL QUE AUMENTA COM O TAMANHO DA CIDADE?**

Os diferentes tamanhos das cidades, tanto em termos de população como de superfície urbanizada, levantam a questão da relação entre o tamanho da cidade e a intensidade da ICU, bem conhecida na literatura (Oke *et al.*, 2017). Para as quatro cidades estudadas, a diferença no planejamento urbano também deve ser levada em consideração. Nas três cidades principais, o centro é majoritariamente constituído por edifícios com dois ou três níveis, enquanto há poucos edifícios com mais de dois níveis em Vera. Prédios de 6 andares ou mais são inexistentes em Vera, raros em Alta Floresta, e um pouco mais numerosos em Sinop e Sorriso, mas dispersos

pela área urbanizada. Nas quatro cidades, as ruas do centro são largas e geralmente asfaltadas, e as principais avenidas possuem pequenas árvores ornamentais. Finalmente, os armazéns e as zonas industriais têm uma forte extensão nas periferias das três principais cidades, especialmente em Sinop e Sorriso, onde as infraestruturas ligadas ao agronegócio são importantes.

**Figura 5** - Intensidades médias mensais (linhas) e horárias (colunas) da ilha de calor urbana (em °C) em Sinop em 2020 (horário local).

Hora	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Med
00:00	0.7	0.7	0.7	0.8	1.6	2.0	2.7	2.5	2.3	1.1	0.8	0.7	1.3
01:00	0.6	0.6	0.6	0.8	1.7	2.4	2.7	2.6	2.5	0.9	0.8	0.7	1.3
02:00	0.6	0.5	0.5	0.8	1.6	2.6	2.6	2.7	2.4	1.1	0.8	0.7	1.3
03:00	0.5	0.5	0.4	0.8	1.7	2.6	2.9	2.6	2.5	1.1	0.7	0.6	1.4
04:00	0.6	0.5	0.5	0.7	1.6	2.5	2.8	2.5	2.4	1.1	0.7	0.6	1.3
05:00	0.5	0.5	0.5	0.7	1.8	2.6	2.5	2.1	2.2	1.1	0.7	0.6	1.3
06:00	0.7	0.6	0.5	0.8	1.7	2.4	2.6	2.3	2.2	1.2	1.2	0.8	1.3
07:00	1.4	0.8	0.4	1.0	2.4	3.0	3.1	3.1	2.2	1.4	1.7	1.0	1.3
08:00	1.8	0.9	0.5	1.1	2.1	2.3	2.4	1.3	0.7	1.0	0.6	0.8	1.0
09:00	1.0	0.5	0.3	1.3	1.6	1.6	1.1	0.2	-0.1	0.3	-0.1	0.3	0.6
10:00	0.4	0.1	-0.4	1.1	1.2	0.9	0.2	-0.3	-0.4	-0.1	-0.2	-0.2	0.4
11:00	-0.4	0.0	-0.5	1.1	1.2	0.6	-0.2	-0.5	-0.4	-0.5	-0.5	-0.4	0.3
12:00	-0.1	-0.8	-0.4	0.4	1.0	0.7	0.0	-0.6	-0.4	-0.5	-0.3	-0.5	0.3
13:00	-0.3	-0.3	-0.3	0.4	0.9	0.7	0.0	-0.4	-0.5	-0.7	-0.3	-0.4	0.3
14:00	-0.5	-0.3	-0.1	0.1	0.5	0.5	0.2	0.2	-0.2	-0.5	0.0	-0.5	0.2
15:00	-0.6	0.2	0.4	0.2	0.3	0.2	0.6	0.3	0.1	-0.3	0.2	0.0	0.4
16:00	-0.6	-0.1	0.8	0.4	0.3	0.0	0.8	0.5	0.3	0.6	0.5	0.1	0.5
17:00	-0.4	-0.1	0.4	-0.1	-0.1	-0.5	0.7	0.7	0.3	0.4	0.4	0.6	0.4
18:00	-0.4	0.0	0.3	0.0	0.7	0.7	1.8	2.1	1.5	0.2	0.9	0.6	0.8
19:00	0.2	0.4	0.7	0.8	1.5	1.8	3.0	3.1	2.5	0.9	0.9	0.8	1.5
20:00	0.6	0.6	0.9	1.1	1.7	2.4	3.2	3.0	2.6	1.3	1.0	0.8	1.6
21:00	0.8	0.7	1.0	1.1	1.6	2.2	3.2	2.8	2.2	1.3	1.1	0.8	1.5
22:00	0.9	0.7	0.9	1.1	1.5	2.1	3.0	2.7	2.1	1.2	0.9	0.9	1.4
23:00	0.8	0.6	0.8	1.1	1.7	1.9	2.7	2.4	2.2	1.0	0.6	0.5	1.3
Med	0.5	0.5	0.4	0.9	1.4	1.5	1.6	1.4	1.1	0.6	0.6	0.5	0.9

Fonte: Adaptado de Dubreuil *et al.*, 2022.

Os dados da Tabela 1 contrastam claramente Sinop e Vera em termos de tamanho, frequência e intensidade da ICU. Na primeira abordagem, Alta Floresta e Sorriso aparecem em situação intermediária. Vera se destaca das demais cidades já que seu menor tamanho resulta na virtual ausência de situações de ICUs. A cidade é um pouco mais quente que a periferia, num cenário onde nenhuma ICU atinge 2 °C, sugerindo a inexistência da ICU. Em contrapartida, Sinop apresenta valores significativos de ICU comparáveis aos de cidades de tamanho

semelhante (Amorim e Dubreuil, 2017; Oke *et al.*, 2017), onde foram percebidos quase 200 dias por ano com uma diferença cidade-rural superior a 1 °C (comparado a 12 em Vera) e 110 dias de ICU moderada (nenhum observado em Vera).

**Tabela 1** - Síntese das observações da ICU em 2020 em Alta Floresta, Sinop, Sorriso e Vera.

	<b>Alta Floresta</b>	<b>Sinop</b>	<b>Sorriso</b>	<b>Vera</b>
<b>População (habitantes)</b>	51.959	146.005	92.769	11.402
<b>Área urbanizada (hectares)</b>	2.062	7.861	3.750	376
<b>ICU média a partir das mínimas diárias (°C)</b>	1,26	1,35	1,16	0,18
<b>ICU máximo observado (°C)</b>	4,2	4,6	4,8	1,6
<b>Número de dias com ICU &gt; 4 °C (forte)</b>	3	5	8	0
<b>Número de dias com ICU &gt; 2 °C (moderada)</b>	105	110	104	0
<b>Número de dias com ICU &gt; 1 °C (fraca)</b>	173	191	162	12

Fonte: elaborado pelos autores.

As cidades de Sorriso e Alta Floresta apresentam ICUs também bem marcadas no período noturno da estação seca. Seu valor é, em média, ligeiramente inferior ao de Sinop, mas, embora seu tamanho seja intermediário entre Sinop e Vera, a ICU é muito superior à de Vera. Parece, portanto, que surge um efeito limiar entre estas cidades médias e as pequenas.

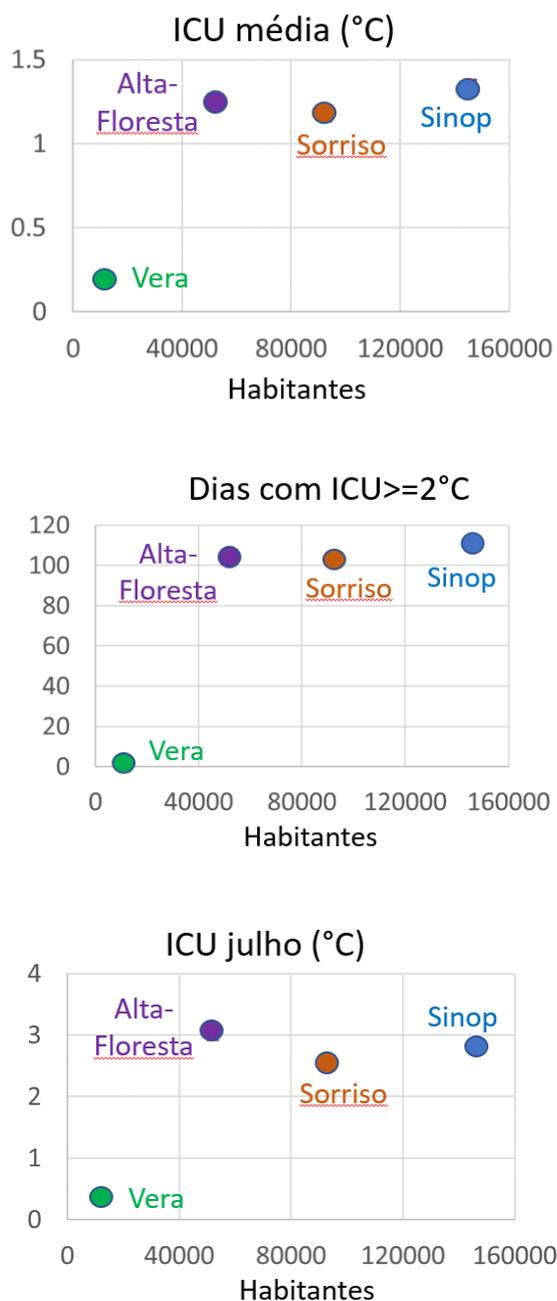
Também poderíamos esperar observar uma ICU muito menos acentuada em Alta Floresta do que em Sorriso, sendo que a primeira representa quase a metade da população do que a segunda. Porém, os valores da Tabela 1 são muito próximos para as duas cidades, não tendo a diferença de porte, portanto, impacto na frequência e intensidade da ICU.

A explicação poderia estar ligada ao ambiente rural de referência. Assim, o município de Alta Floresta permanece cercado por uma proporção significativa de pastagens e florestas, enquanto o entorno de Sorriso é ocupado principalmente por lavouras temporárias e fica com solos nus durante a estação seca. A menor presença de vegetação e, portanto, a redução de evapotranspiração e a dissipação do calor latente na zona rural ao redor de Sorriso limitam a queda da temperatura noturna e fazem com que a cidade pareça menos quente. Em Alta Floresta, a maior presença de vegetação no campo, ao contrário, acentua o diferencial cidade-campo acrescentando um efeito adicional de ICU.

A Figura 6 toma esses resultados graficamente, tentando mostrar a relação entre a população das quatro cidades e as intensidades das ICUs. Se essa relação fosse perfeita, os quatro pontos se alinhariam conforme a bissetriz dos gráficos. Na verdade, a cidade de Alta

Floresta ainda aparece um pouco no canto superior esquerdo em todos os três gráficos, mostrando uma ICU mais forte do que esperado, tomando os cenários observados nas outras três cidades. A caracterização da intensidade da ICU depende, portanto, não apenas do tamanho da cidade, mas também do seu contexto e do seu ambiente rural. O contraste mais forte entre cidade e campo, no caso de Alta Floresta, tende a situá-la um pouco diferente da relação linear aplicável às outras três cidades.

**Figura 6** - Intensidades de ilhas de calor segundo a população em 2020 em Alta Floresta, Sinop, Sorriso e Vera.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

As cidades pioneiras da Amazônia brasileira participam, portanto, também das transformações climáticas locais. Por meio da extensão de suas áreas urbanizadas, elas geram situações de ilhas de calor urbanas muito presentes à noite durante a estação seca. Se essas ICUs são quase inexistentes em cidades muito pequenas como Vera, elas se tornam significativas para cidades com mais de 50 mil habitantes, e ainda mais significativas para cidades maiores como Sinop. A comparação entre Sorriso e Alta Floresta mostra que a intensidade dessa ICU não depende apenas do tamanho do município, mas também do ambiente rural e da vegetação preservada no entorno. Isto mostra o importante papel desempenhado pela vegetação na minimização do aumento das temperaturas na escala local. Finalmente, as observações continuadas nestas cidades pioneiras terão, portanto, de se concentrar em mostrar como, dentro do tecido urbano, a vegetação também pode ser uma forma de combater o calor urbano.

## AGRADECIMENTOS

Ao programa CAPES/COFECUB - processo: 88881.191765/2018-01; Sh 941/19 – projeto: CiClAMEn (Cidades, Clima e Vegetação: Modelagem e Políticas Públicas Ambientais), pelo apoio financeiro; ao ODYSSEA (UE-RISE, nº 691053) e o apoio de Rennes Métropole (Auxílio à Instalação Científica). Os autores agradecem a todas as instituições e pessoas (numerosas demais para serem todas citadas aqui) que participaram das campanhas de medição. Este artigo retoma parcialmente elementos apresentados durante a 35ª Conferência da Associação Internacional de Climatologia em Toulouse (Dubreuil *et al.*, 2022).

## REFERÊNCIAS

- AMORIM, M.; DUBREUIL, V. Intensity of Urban Heat Islands in Tropical and Temperate Climates. **Climate**, v. 91, p. 1-22, 2017.
- ARAUJO, L. F. **Ilhas de calor em Sinop-MT**: análise das características térmicas em conjunto com os aspectos socioeconômicos e ambientais. Dissertação (Mestrado em Geografia) - UNESP, Presidente Prudente, 2021.
- BECKER, B. Undoing myths: the Amazon – an urbanized forest. *In*: CLÜSENERGODT M.; SACHS I. (org.). **Brazilian perspectives on sustainable development for the Amazon region**. Paris: UNESCO, v. 15, p. 53-89, 1995.
- BORJA, R. A. M. Os desafios da arquitetura e do urbanismo em Sinop/MT. **Rev. Cient. Arquit.-Eng. e Anál. de Desenv. de Sist.**, v. 1, n. 1, p. 2-10, 2018.
- CLAIRAY, M.; DUBREUIL, V. Etude de l'évolution diachronique de la Gleba Celeste (Mato Grosso) a partir d'images Landsat. **Espaço e Geografia**, v. 5, n. 1, p. 119-138, 2002.
- DE OLIVEIRA, J. V.; COHEN, J. C. P.; PIMENTEL, M.; TOURINHO, H. L. Z.; LÔBO, M. A.; SODRÉ, G.; ABDALA, A. Urban climate and environmental perception about climate change in Belém, Pará, Brazil. **Urban Climate**, v. 31, 100579, 2020.

- DUBREUIL, V.; NEDELEC, V.; BARIOU, R.; MAITELLI, G. T. Estudo da urbanização e suas consequências sobre as temperaturas noturnas em Sinop/Mato Geosso. **Revista Matogrossense de Geografia**, v. 07/08, p. 25-39, 2003.
- DUBREUIL, V.; DELAHAYE, C.; LE STRAT, A. Changements d'occupation du sol et leurs impacts climatiques au Mato Grosso, Brésil. **Confins**, v. 10, p. 1-20, 2010.
- DUBREUIL, V.; FANTE, K. P.; PLANCHON, O.; SANT'ANNA NETO, J. L. Os tipos de climas anuais no Brasil: uma aplicação da classificação de Köppen de 1961 a 2015. **Confins**, v. 37, p. 1-20, 2018.
- DUBREUIL, V. *et al.* Un changement climatique souvent oublié : les îlots de chaleur urbain en Amazonie. **Actes du 35e Colloque de l'Association Internationale de Climatologie**, Toulouse, 2022. Disponível em: <http://www.meteo.fr/cic/meetings/2022/aic/>. Acesso em: 5 set. 2023.
- FRANÇA, M. S.; GOMES, E. S. Índices de ilha de calor urbana em Sorriso/MT. **Revista Monografias Ambientais – REMOA**, v. 14, n. 3, p. 3366-3376, 2014.
- FRANÇA, M. S. de; DOMBSKI, E.; MELO, D. S. de; CASTANHA, M.; FRANÇA, S. M. B. de. Estimativa de conforto térmico no entorno do Instituto Federal de Mato Grosso: estudo de caso no campus Sorriso. **Geografia Ensino & Pesquisa**, v. 20, n. 2, p. 185–193, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/2236499419381>. Acesso em: 5 set. 2023.
- FRANÇA, M. S. Estimativa de índices de conforto térmico por meio do uso de transecto móvel em Sorriso/MT. **Nativa**, v. 6, p. 648–653, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.31413/nativa.v6i6.5820>. Acesso em: 5 set. 2023.
- GHENO, E. L.; FRANÇA, M. S.; MAITELLI, G. T. Variações microclimáticas na área urbana de Sinop/MT no final da estação chuvosa. **Revista Educação, Cultura e Sociedade**, ECS, Sinop/MT, v. 2, n. 1, p. 139-153, 2012.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE cidades**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mt/sinop>. Acesso em: 25 ago. 2023.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Estimativos de População 2020**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/>. Acesso em: 5 set. 2023.
- MAITELLI, G. T.; WRIGHT, I. R. The climate of a riverside city in the Amazon Basin: urban-rural differences in temperature and humidity. **Amazonia, Deforestation and Climate**, Londres: John Wiley & Sons, v. 1, p. 193 - 206, 1996.
- MAPBIOMAS, 2021. Project / plataforma MapBiomias - **Collection 4.1**, Dados 2020. Disponível em: <https://plataforma.mapbiomas.org>. Acesso em: 5 set. 2023.
- MARAFON, C.; LACO, M.; SANCHES, J. C. M.; LEÃO, M.; LEÃO, E. F. T. B. Bioclimatic strategies in the evaluation of thermal performance in low cost housing in Sinop – MT. **Revista eletrônica em gestão, educação e tecnologia ambiental**, v. 18, n. 3, p. 1008–1021, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/2236117013815>. Acesso em: 5 set. 2023.
- MOTA, L. L.; BOTON, D.; FONSECA, R. C.; SILVA, W. C.; SOUZA, A. P. Balanço Hídrico Climatológico e Classificação Climática da Região de Sinop, Mato Grosso. **Scientific Electronic Archives**, v. 3, p. 38-44, 2013.
- NOBRE, A. *et al.* **Amazon Assessment Report 2021**. Science Panel for the Amazon. United Nations Sustainable Development Solutions Network, New York, USA, 2021.

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

ROCHA, A. F.; PAULA, D. C. J. de; SOUZA, N. S.; SILVA, P. C. B.; MIRANDA, S. A.; ZAMADEI, T.; SOUZA, A. P. de; MACHADO, N. G.; SANTOS, F. M.; NOGUEIRA, J. S. de; NOGUEIRA, M. C. Variações microclimáticas de áreas urbanas em biomas no estado de Mato Grosso: Cuiabá e Sinop. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 4, p. 246–257, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.19177/rgsa.v4e02015246-257>. Acesso em: 5 set. 2023.

SANCHES, J. C. M.; CORBELLA, O. D.; DOMINGOS, R. M. A.; GUARDA, E. L. A. da; ASSIS, E. S. de. Methodology for integration of the climate criteria for urban planning in small and medium-sized cities in the central west of Brazil. **Revista Espaço e Geografia**, v. 25, n. 1, 2022. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/espacoegografia/article/view/39670>. Acesso em: 5 set. 2023.

# **AS RELAÇÕES ENTRE AS CARACTERÍSTICAS PAISAGÍSTICAS E A ESPACIALIZAÇÃO DA ILHA DE CALOR URBANA DE SINOP-MT: ANÁLISE DE EPISÓDIOS EM PERÍODOS SECOS**

*Luis Flávio de Araújo  
Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim  
Vincent Dubreuil*

## **INTRODUÇÃO**

A materialização das relações sociais na produção dos espaços e paisagens urbanas e rurais detém o potencial de alterar as dinâmicas naturais e viabilizar a gênese de fenômenos distintos daqueles habitualmente observados no ambiente. No contexto das áreas urbanas, a substancial alteração dos elementos superficiais e da cobertura do solo induz modificações em mecanismos como os balanços hídrico e energético. À medida que se reorganizam em conjunto com os novos aspectos da superfície, essas modificações expressam diferenças no campo termo-higrométrico entre as áreas construídas e as áreas rurais, ou menos modificadas (Monteiro, 1975; Oke, 1987; Gartland, 2010; Amorim, 2020).

É diante do cenário da manifestação dos rearranjos mencionados anteriormente que se identifica a origem de um clima próprio aos ambientes urbanos, no qual a cidade (um fato social) altera os elementos do clima local (fato natural), como a temperatura e a umidade relativa do ar, e os padrões de fluxos de ventos, resultando em possíveis consequências à saúde humana e nas suas condições de sobrevivência (Monteiro, 1975). A ilha de calor urbana, caracterizada como uma anomalia no campo térmico intraurbano em função da diversidade paisagística da cidade, quando comparado com uma área rural ou menos alterada, sobretudo em condições de estabilidade atmosférica (Gartland, 2010; Amorim, 2020), se expressa como um exemplo concreto de fenômenos decorrentes da alteração dos elementos do clima local.

A problemática da ilha de calor urbana torna-se ainda mais relevante ao constatar dois pontos: (i) no Brasil, há a predominância de habitantes residentes em áreas urbanizadas, com 71% dessa população distribuída entre cidades médias e pequenas (com até 500 mil habitantes), conforme os resultados do Censo Demográfico de 2022 (IBGE, 2023); (ii) o fenômeno pode ser observado em cidades de diversificados portes, contextos históricos e sociais, condições

naturais (vegetação, clima, relevo) e atividades econômicas, como apresentado e discutido em Rampazzo (2019), Amorim (2020), Amorim; Dubreuil; Amorim (2021), Teixeira e Amorim (2022), Ribeiro *et al.* (2023), dentre outros.

Conforme mencionado, os elementos que constituem as variadas paisagens urbanas e rurais, devido às suas características sociais, econômicas, ambientais e históricas, têm o potencial de influenciar nas propriedades do clima local. Isso, somado à falta de restrições espaciais significativas para a ocorrência do fenômeno de ilha de calor, destaca a necessidade de investigar mais a fundo essa relação entre a diversidade paisagística e as alterações no clima local. Uma possibilidade analítica dessa relação é a identificação detalhada das características paisagísticas de acordo com os parâmetros estabelecidos em Stewart (2011) e Stewart e Oke (2012) para as *Local Climate Zones* (LCZ), tais como: (i) cobertura do solo; (ii) densidade construtiva; (iii) altura das edificações; (iv) tamanho da vegetação; e (v) espaçamento entre edificações e vegetação, entre outros.

Juntamente com a implementação das LCZs, é essencial empregar abordagens e técnicas que superem as limitações espaciais e/ou temporais dos sensores fixos e móveis na análise da relação entre os aspectos paisagísticos e a temperatura do ar. Nesse contexto, as análises geostatísticas assumem um papel crucial, especialmente ao adotar a abordagem de modelagem por regressão linear multicriterial, que estima os valores de temperatura ou intensidade para pontos da área de estudo nos quais não foi possível se obter registros, a partir de valores coletados *in situ* (Foissard, 2015; Amorim, 2020).

Portanto, considerando: (i) a existência de um clima específico para as áreas urbanas, resultante das alterações nos elementos climáticos causados pela atividade humana e pela modificação da paisagem natural; (ii) a importância das cidades de médio e pequeno porte no contexto brasileiro; e (iii) o arcabouço teórico-metodológico e técnico para analisar os efeitos das intervenções humanas nos processos ambientais, o presente artigo tem como objetivo analisar a formação e distribuição da ilha de calor urbana em Sinop (MT), investigando sua relação com os aspectos paisagísticos intraurbanos e rurais, bem como os sistemas atmosféricos em atuação. Para isso, foram utilizados registros de temperatura do ar a partir de pontos fixos e móveis durante o período de estiagem de agosto e setembro de 2020. Também empregou-se a modelagem por regressão linear multicriterial como forma de validar a relação entre paisagem e temperatura, e para a espacialização dos resultados.

## **ASPECTOS URBANOS, RURAIS E AMBIENTAIS DE SINOP**

Os aspectos paisagísticos urbanos e rurais de Sinop remontam a uma série de ações governamentais, econômicas, de modernização da agricultura, da urbanização nacional, de mudanças no mercado internacional, e, principalmente, da ideologia do governo militar vigente na época de sua fundação atrelada à constante defesa do capital e da “soberania” nacional. Destacam-se como impulsionadores desse processo de consolidação, o Programa de Integração Nacional (PIN), que previa a “reocupação” da Amazônia apoiada na implementação de infraestrutura, como a BR-163, e incentivos fiscais, bem como estratégias governamentais como o “Programa de Redistribuição de Terras” e de “Estímulo à Agroindústria do Norte e Nordeste”, entre outros. Além disso, houve a participação significativa do capital privado nesse processo de “integração”, altamente aparado pelo poder estatal no decorrer da década de 1970 (Souza, 2006; Romancini; Martins, 2007).

Nesse contexto, ocorreu a aquisição de uma porção de terras na parte norte de Mato Grosso pela “Sociedade Imobiliária Noroeste do Paraná” (SINOP), conhecida como “Gleba Celeste”. Posteriormente, essa gleba foi subdividida em núcleos com o objetivo de viabilizar a implementação de estruturas econômicas de suporte e a fundação de cidades, tais como Vera, Sinop, Santa Carmem e Cláudia, sendo amplamente comercializados na Região Sul do país (Souza, 2006).

A fundação da cidade homônima à empresa (Sinop) se deu em 1974, fundamentada no planejamento e na implantação de quadras destinadas a usos comerciais, residenciais, serviços comuns e industriais. Além disso, a colonizadora assumiu o controle e a orientação da alocação dos compradores visando consolidar a malha urbana e evitar ocupações irregulares dos lotes (Oliveira, 1988; Souza, 2006).

As estratégias de organização do novo município, em consonância com o direcionamento econômico nacional que priorizou a produção e comercialização de commodities agrícolas em 1988, resultaram, em Sinop, na consolidação de paisagens urbanas e rurais, em detrimento da vegetação arbórea outrora existente (Clairay; Dubreuil, 2002; Dubreuil *et al.*, 2003) visando, sobretudo, o suporte às atividades agrícolas intensamente estimuladas e desenvolvidas na área.

É preciso destacar que o desenvolvimento da agricultura mecanizada e a rápida consolidação do núcleo urbano de Sinop se deram por fatores políticos e ambientais. No âmbito ambiental, a pouca variabilidade altimétrica característica da unidade geomorfológica do

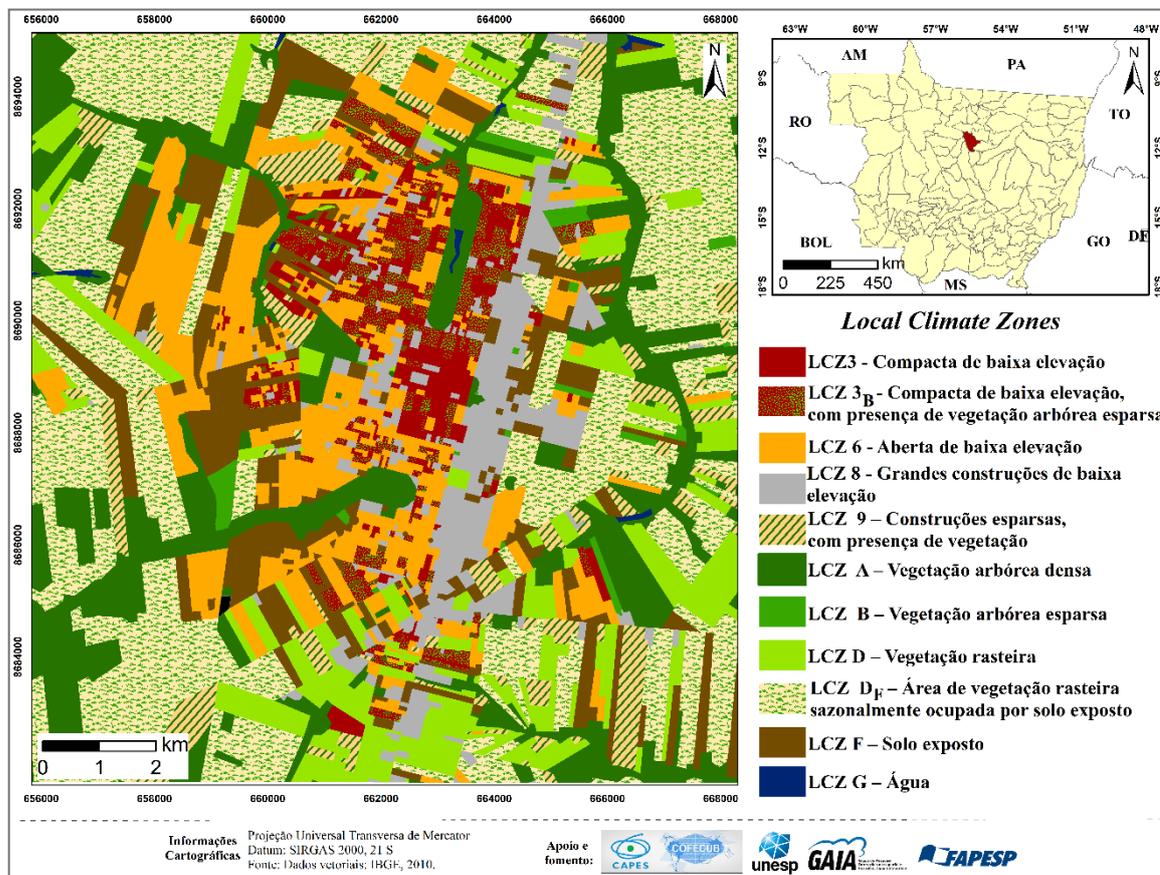
Planalto dos Parecis, entre 360 e 370 m no plano urbano (Brasil, 1980), proporcionou facilidades na implementação de maquinários agrícolas em todo o processo produtivo (preparo da terra-semeadura-colheita), enquanto na área urbana possibilitou um planejamento cartesiano que não era impedido por grandes acidentes geográficos. Assim, tem-se uma importante característica que justifica a escolha de Sinop para este trabalho, pois a baixa influência do relevo nos elementos do clima local possibilita a análise da interferência das características paisagísticas geradas pelas atividades humanas na produção do clima urbano do local.

No entanto, enquanto o relevo facilitou a rápida mecanização das atividades agrícolas, os fatores climáticos representaram uma primeira barreira significativa. Isso se deve ao fato de que os primeiros cultivos adotados não proporcionavam a rentabilidade necessária para a sua manutenção, ou porque as espécies e métodos de produção não estavam adaptados às condições específicas da região, uma vez que Sinop se caracteriza pelo clima quente de verões chuvosos e inverno seco, típico do Aw na classificação climática de Köppen (Dubreuil *et al.*, 2018). Dessa forma, tem-se, na área, os maiores registros de precipitação entre dezembro e fevereiro, oriundos da atuação de sistemas atmosféricos instáveis, como a massa equatorial continental (mEc), instabilidades tropicais (IT) e da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), como indicado por Sette (2005).

Mais tarde, com a intensificação de pesquisas e o desenvolvimento de novas metodologias/tecnologias de cultivo, especialmente por parte da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Soja (Embrapa Soja), obteve-se o êxito de culturas, na área, como a soja, o milho e o algodão. Diante desse fato, observa-se a atividade agrícola graneleira como a principal atividade econômica de Sinop, e responsável pela ciclicidade da paisagem rural que ora apresenta vegetação rasteira de pequeno porte dos cultivos, ora se configura como grandes extensões de solo exposto durante o período de vazio sanitário.

Assim, a partir dos pontos apresentados anteriormente, e após 49 anos desde o início de seu processo de formação, o município de Sinop se caracteriza por possuir uma população de 196.067 habitantes, com 69,67km<sup>2</sup> de área urbanizada (IBGE, 2022), com as principais atividades econômicas pautadas no serviço e na produção agrícola de commodities. Ao analisar tais aspectos sob a luz da caracterização da paisagem trabalhada em Cardoso (2015) e integrante da proposta de Stewart (2011), observa-se a predominância de seis classes de propriedades construtivas e paisagísticas da localidade, como disposto na Figura 1.

**Figura 1** - Espacialização das características paisagísticas de Sinop pautadas nas *Local Climate Zones*.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Em síntese, nota-se que a produção do espaço urbano e rural de Sinop deixou marcas em seu processo, que podem ser observadas em aspectos como: (i) a concentração de tipos construtivos de elevada densidade de edificações/pavimentações (LCZs 3 e 3B) no centro comercial e nos bairros onde predominam as classes sociais menos abastadas do setor Norte da cidade; (ii) a predominância de construções espaçadas (LCZ 6) nas porções Sul e Oeste da cidade, vinculadas aos espaços residenciais fechados de elevado padrão econômico, e associadas ao processo de expansão territorial urbana na porção Noroeste; (iii) a concentração das grandes construções de baixa elevação (LCZ 8), marcando o eixo da BR-163 e vinculadas às atividades agrícolas, por abrigar empresas que participam desse processo produtivo; (iv) a vegetação arbórea densa (LCZ A) disposta em fragmentos intraurbanos e rurais, associada às zonas de proteção ambiental e cursos hídricos; e (v) o predomínio das áreas sazonalmente ocupadas por vegetação rasteira ou solo exposto (LCZ DF), destinadas à produção graneleira de exportação, no entorno rural e em porções que se misturam à malha urbana em consolidação.

Assim, reafirma-se que a área de estudo se configura como uma excelente opção para compreender como a diversidade paisagística influencia na espacialização da ilha de calor.

## PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

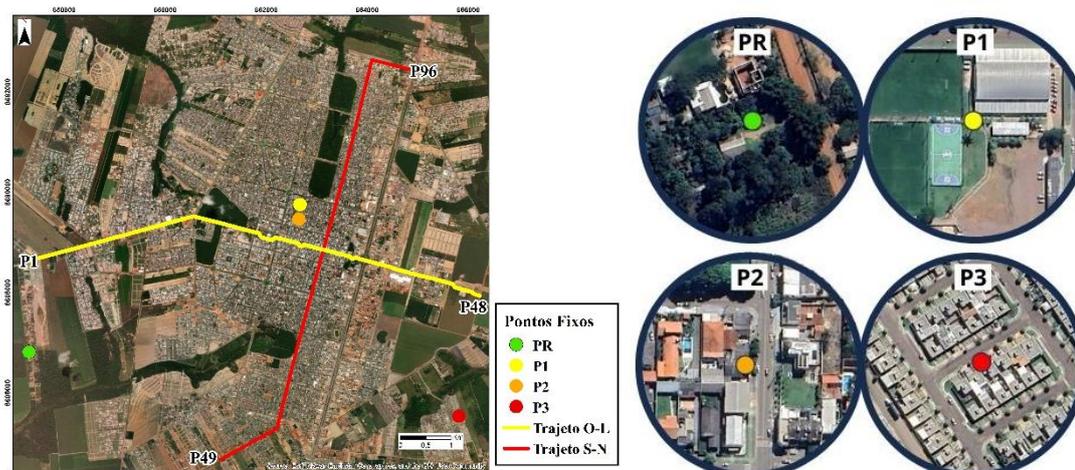
Para o atendimento do objetivo proposto, estabeleceu-se a análise da ilha de calor urbana atuante em Sinop em dois aspectos. O primeiro associado à variação horária e sua relação com os sistemas atmosféricos atuantes, perpassando previamente pela questão espacial. O segundo aspecto se deu no aprofundamento da espacialização da ilha de calor noturna, com enfoque na conexão da intensidade e magnitude com as características paisagísticas.

Para a coleta de dados foram utilizadas as técnicas de pontos fixos (registros horários de 27/08 a 27/09/2020) e transectos móveis. Os pontos fixos se constituíram de dois dataloggers U23-002 – HOBO em abrigo da mesma marca, sendo um (P2) instalado na área urbana consolidada e próxima ao centro comercial da cidade (LCZ 3), e o outro (P3) na área de expansão urbana à sudeste da malha urbana e caracterizadas por aspectos paisagísticos das LCZs 3, 3<sub>B</sub>, 6 e B (Figura 2). Também foram utilizados os dados registrados por duas estações meteorológicas da marca e modelo Davis Vantage Pro2, alocados da seguinte maneira: uma (P1) no campus do Instituto Federal de Mato Grosso (IFMT), remetente às características da LCZ 3<sub>B</sub>, e a outra em uma chácara no entorno rural, sendo esta atribuída como ponto rural de referência (PR) e condizente com as LCZs 9, A e D<sub>F</sub> (Figura 2).

Os registros obtidos pelos transectos móveis se deram em 96 pontos distribuídos em dois percursos: Oeste-Leste (OL) e Sul-Norte (SN) (Figura 2). Estes deveriam abranger as diversificadas características paisagísticas do intraurbano e entorno rural próximo. O procedimento foi realizado nos dias 2, 11 e 18 de setembro de 2020, com início às 21h e finalizado antes das 22h, conforme estabelecido na literatura (Amorim, 2020), os dados e a execução detalhada desta etapa foram apresentados em Araújo *et al.* (2022).

Para a espacialização das intensidades da ilha de calor, utilizou-se da modelagem por regressão linear multicriterial detalhada em Amorim (2020) e adaptada da proposta de Foissard (2015) e Amorim, Dubreuil e Cardoso (2015). Os modelos foram gerados no software IDRISI<sup>®</sup>, com as temperaturas do ar aferidas nos transectos móveis e baseada nas propriedades e características paisagísticas (LCZs), na organização espacial urbana (distância do centro, distância de vegetação e distância de cursos hídricos) e nos elementos físicos (índice de vegetação por diferença normalizada - NDVI e temperatura de superfície), como variáveis dependentes.

**Figura 2** - Localização e foto dos pontos fixos e percurso realizado nos transectos móveis.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Como forma de validação dos modelos verificou-se que o  $R^2_{ajustado}$  para cada data foi de 0,55 (02/09), 0,58 (11/09), com o F de significação de até 0,000001, o que indica que os modelos justificam mais de 55% da correlação da temperatura do ar com as demais variáveis e são estatisticamente significativos ao indicar o valor de F de significação abaixo de 0,05.

Posteriormente à validação da etapa anterior, subtraiu-se o valor de toda a matriz gerada no modelo pela temperatura modelada associada ao local do ponto rural de referência, com vistas a verificar a espacialização da intensidade e magnitude da ilha de calor. Tais valores foram agrupados em classes que expressam a magnitude das ilhas de calor, propostas por Fernández García (1996), indicando que a ICU pode ser fraca (quando a diferença de temperatura entre os pontos for de 0 °C a 2 °C), moderada (de 2 °C a 4 °C), forte (de 4 °C a 6 °C) e de magnitude muito forte (> 6 °C), ou se apresentar como ilha de frescor quando a essa diferença expressa valores abaixo de 0 °C (Mendonça, 1994; Amorim, 2020).

Por fim, destaca-se que a identificação dos sistemas atmosféricos atuantes, para contextualização dos resultados, foi realizada conforme a proposta de Monteiro (1971). Os dados necessários foram registrados pela estação meteorológica referente ao P1, os dados secundários foram disponibilizados pela Embrapa Agrossilvipastoril, as imagens do satélite GOES-16, e cartas sinóticas foram disponibilizadas pela Marinha do Brasil. Os sistemas atmosféricos identificados foram representativos da transição inverno-primavera para a área, sendo observada a predominância de sistemas estáveis como a massa tropical atlântica e a massa tropical continentalizada (mTa e mTc), queda significativa da umidade relativa do ar e baixo total pluviométrico, com exceção de dois registros derivados da atuação da mEc.

## RESULTADOS

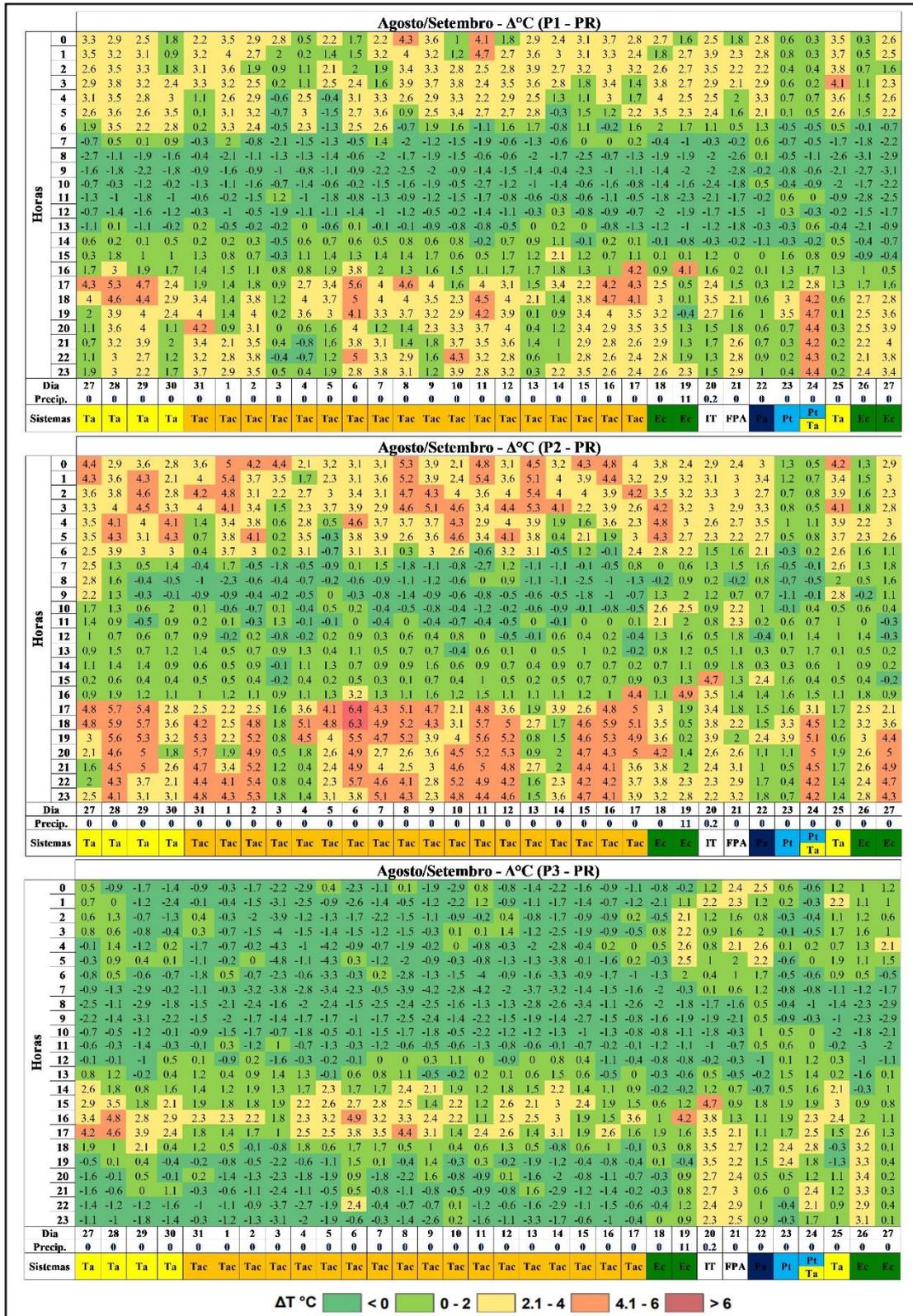
As relações do espaço urbano com a variação térmica intraurbana de Sinop foram inicialmente analisadas em estudos como o de Dubreuil *et al.* (2003); Dubreuil, Delahaye e Le Strat (2010); e Zavitoski (2018), entre outros. De modo geral, tais estudos verificaram, por meio de transectos móveis, diferenças térmicas entre as áreas urbanas e rurais superiores a 5 °C no período noturno e a 3 °C durante a madrugada (Dubreuil *et al.*, 2003); variação térmica entre o intraurbano e o rural na ordem de 6 °C, e maior aquecimento da porção sul da malha urbana, quando comparadas com áreas de mesmas características construtivas do setor norte, derivada da atuação de fluxos de ventos (Dubreuil; Delahaye; Le Strat, 2010); e a tendência de valores mais altos no período de estiagem, bem como a atuação da vegetação e corpos hídricos como pontos de redução da temperatura do ar (Zavitoski, 2018).

Se, por um lado, os estudos sintetizados se referem a períodos diferentes da consolidação urbana de Sinop, por outro, obtiveram resultados similares que reforçam as características clássicas da ilha de calor, como o maior aquecimento da área central, o papel indispensável da vegetação na redução da temperatura intraurbana e a tendência de maior diferença térmica no período noturno. Além disso, esses estudos instigam a necessidade de se aprofundar nas características do fenômeno, tanto no nível horizontal quanto nos aspectos de variação horária, mensal e anual.

Diante destes apontamentos, apresenta-se, na Figura 3, a comparação da variação diária da ilha de calor em três pontos: um associado, principalmente, com as áreas densamente construídas, com vegetação arbórea esparsa (LCZ 3<sub>B</sub>); outro relacionado às áreas densamente construídas do centro comercial/residencial da cidade (LCZ 3); e o terceiro referente às características das áreas de expansão urbana (LCZs 3, A, D, D<sub>F</sub>), ou seja, influenciado por uma diversidade de elementos da paisagem e distante da malha urbana consolidada. É importante ressaltar que o ponto rural padrão apresentava as seguintes características: predominantemente permeável, com presença de vegetação arbórea e ocorrência de áreas cultiváveis (LCZs 9, A, D<sub>F</sub>).

Ao partir da análise inicial da Figura 3, é possível constatar que a distribuição temporal e espacial da ilha de calor, avaliada com base na magnitude, exhibe semelhanças e disparidades entre os três pontos em estudo. Observa-se que os padrões horários identificados nos pontos 1 e 2 apresentam uma correlação mais significativa entre si, ao passo que o P3 manifesta uma relação mais próxima com o ponto rural de referência (PR). Esse último fato é constatado pela baixa diferença térmica entre o P3 e o PR, sobretudo no período noturno.

**Figura 3 - Variação horária da ilha de calor no P1 (LCZ 3B), P2 (LCZ 3) e P3 (LCZs 3, A, D, D<sub>F</sub>), entre 27/08 e 27/09/2020.**



No detalhamento dos resultados, aponta-se que o padrão horário verificado no P1 segue as seguintes características: predominância da média magnitude, sobretudo após o pôr do sol (18h) e nas primeiras horas do dia (6h); enfraquecimento da ICU no período vespertino e em alguns episódios noturnos, expresso por valores entre 0 e 2 °C; situações de arrefecimento da temperatura urbana em relação ao ponto padrão, principalmente no intervalo das 7h às 13h, configurando episódios de “ilha de frescor”; e observações da forte magnitude, prioritariamente, poucas horas após o pôr do sol. Em suma, verifica-se que a maior parte dos horários são caracterizados por diferenças térmicas positivas entre o urbano e o rural, o que indica a constante atuação da ilha de calor urbana, com variações na sua intensidade/magnitude, exceto nos horários em que ocorrem as manifestações da ilha de frescor.

O padrão verificado para o P2 apresenta similaridades com o ponto anterior, como o expressivo número de episódios com características de fraca magnitude, especialmente no intervalo das 10h às 16h, e características de magnitudes mais elevadas (média e forte) entre o pôr do sol e as primeiras horas da manhã (em torno das 8h). No entanto, observa-se uma redução no total de valores que configuram a ilha de frescor, com a mesma predominância horária do P1, ou seja, no intervalo das 8h às 11h. Outra alteração substancial ocorre no total de episódios caracterizados pela forte magnitude, principalmente em situações atmosféricas de estabilidade e após o pôr do sol. Enquanto o P1 registrou apenas 30 valores iguais ou acima de 4,1 °C de intensidade, o P2 apresentou 144 episódios, com a maioria concentrada entre as 17h e as 23h, exceto em dias de atuação da IT, FPA, mPa, mEc e algumas particularidades da atuação da mTa e mTac.

Essas diferenças entre os pontos reforça a variação espacial da ilha de calor em função das propriedades paisagísticas dos locais aos quais estão inseridos. Tal afirmação se deve ao seguinte fato: o P1 e o P2 foram instalados próximos e inseridos no contexto da área central da cidade, entretanto, com características construtivas imediatas distintas, uma vez que o P1 se encontra numa área influenciada por propriedades urbanas típicas da LCZ 3<sub>B</sub>, estando o sensor instalado em uma área aberta e sujeito à circulação urbana, mesmo que baixa. O mesmo não acontece com o P2 que é influenciado por características construtivas da LCZ 3, em uma residência com terreno quase todo construído e/ou pavimentado, que acaba por dificultar a circulação do ar quando em velocidade reduzida.

A variação espacial constatada anteriormente é reforçada ao se analisar os valores obtidos pelo P3, que, embora apresente características construtivas próximas do P1 e P2, exhibe um padrão divergente do verificado anteriormente. Assim, o padrão observado se constitui com

as seguintes características: (i) predomínio de intensidades abaixo de 0 °C, o que configura a ilha de frescor, estando distribuídas entre as 19h e as 12h, com exceção dos dias 20 a 27/09, sob a atuação de sistemas atmosféricos como a IT, FPA, mPa, mPt, mTa e mEcn; e (ii) a presença constante de valores de intensidade que caracterizam a média magnitude da ICU no período diurno, especificadamente entre as 14h e as 17h.

A essa excepcionalidade observada no P3, atribui-se o seguinte fato: embora a localidade, ou seja, o ponto de instalação, seja caracterizada por construções e pavimentações (LCZ 3), o fenômeno urbano ainda não possui expressão suficiente para descaracterizar as propriedades paisagísticas dos arredores, como vegetação arbórea densa e esparsa, vegetação rasteira e pequenos cursos hídricos, especialmente em condições de estabilidade e durante o período noturno. Logo, a localização das características paisagísticas se torna um aspecto essencial para compreender a variação térmica em Sinop.

Em síntese, a Figura 3 e as observações anteriormente mencionadas permitem afirmar que a ilha de calor urbana na área de estudo apresenta um desenvolvimento mais pronunciado no período noturno (das 18h às 5h), com diferenças térmicas superiores a 2 °C entre o ambiente urbano e o rural. No entanto, esse cenário pode ser alterado sob a influência de sistemas atmosféricos instáveis, que têm a capacidade de homogeneizar as temperaturas nos elementos construídos, embora ainda haja diferenças em relação ao ponto rural padrão.

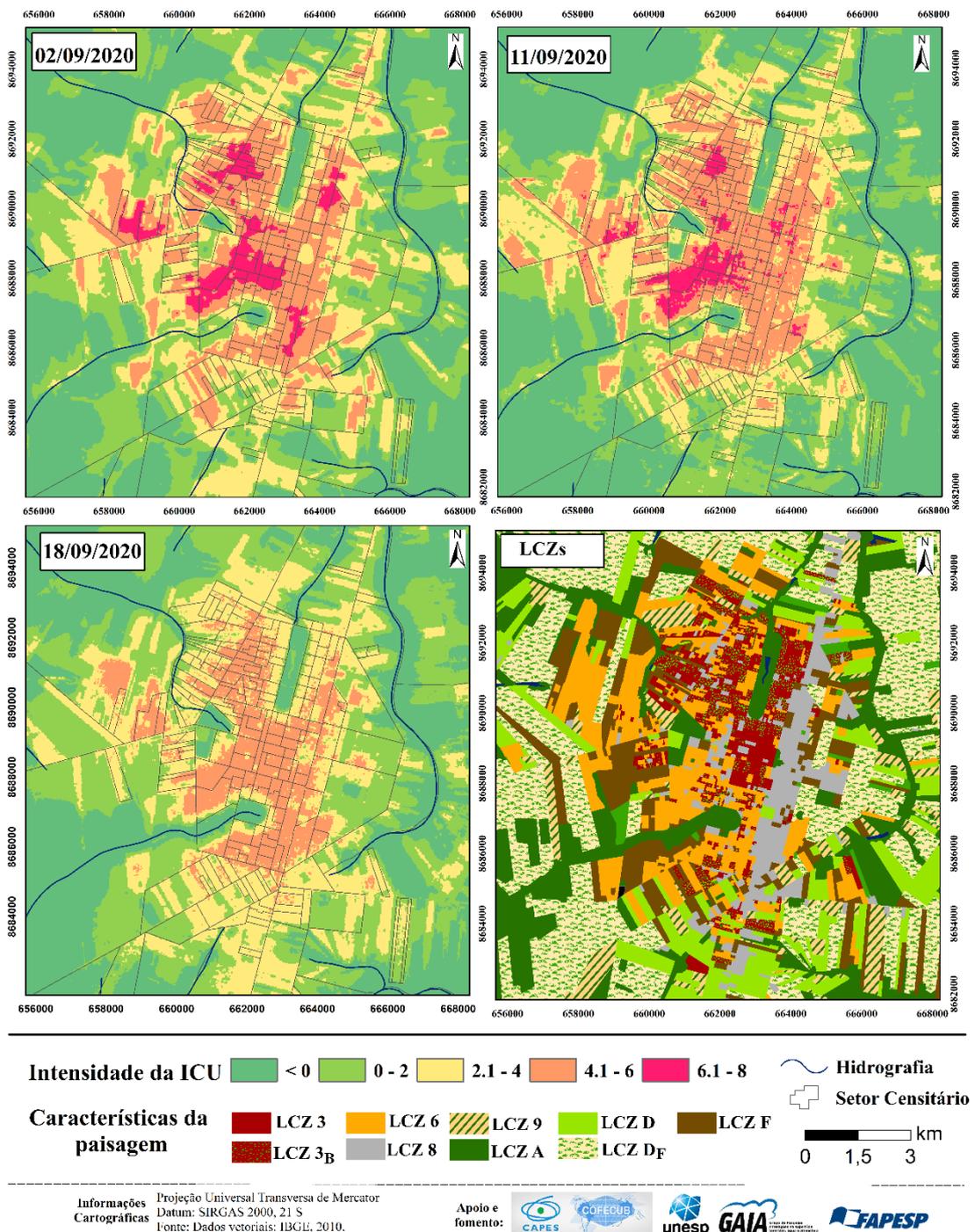
No que diz respeito à variação espacial, observa-se que a localização das características paisagísticas pode exercer considerável influência na variação térmica entre o ambiente urbano e o rural. No entanto, permanece uma lacuna no entendimento de como essa variação afeta os diferentes aspectos paisagísticos que compõem a área de estudo.

Então, como forma de se aprofundar na relação da ilha de calor com as características paisagísticas de Sinop, apresenta-se a Figura 4, que retrata a intensidade modelada de acordo com a equação de regressão linear apresentada e validada no item “Procedimentos Metodológicos”. Salienta-se que os episódios analisados correspondem ao período noturno (21h), no qual se verificou a ocorrência de maiores intensidades/magnitudes da ICU com as tabelas dinâmicas, sendo importante para observar se tal fato repercutia em nível horizontal, valorizando então as propriedades paisagísticas sob as quais foram encontrados os resultados.

Ao partir do episódio de 02/09, verificou-se que as intensidades abaixo de 0 °C estiveram associadas com as características paisagísticas referentes a cobertura da terra (LCZs A e D<sub>F</sub>), principalmente quando distantes das áreas construídas. As mesmas características

(LCZs A e D<sub>F</sub>), quando representadas pelos fragmentos florestais intraurbanos e pelas áreas cultiváveis próximas ao núcleo urbano, foram as responsáveis pela observação de valores correspondentes à fraca magnitude da ICU (0 °C a 2 °C), demarcando a transição com as localidades mais aquecidas.

**Figura 4** - Espacialização das intensidades e forma da ilha de calor urbana para os dias 02, 11 e 18 de agosto de 2020, com base na temperatura modelada para às 21h.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Na sequência, observa-se que a média magnitude (2,1 °C a 4 °C) se vinculou a pequenas manchas da LCZ D<sub>F</sub>, sobretudo na transição rural-urbana, assim como em manchas de solo exposto (LCZ F), e de maneira concentrada em pontos de áreas densamente construídas com a presença de vegetação arbórea (LCZ 3<sub>B</sub>), no entorno do fragmento florestal contido na porção norte da malha urbana. Enquanto as magnitudes anteriores predominaram nas bordas da malha urbana, as intensidades entre 4,1 °C e 6 °C (magnitude forte), se associaram ao intraurbano consolidado, ou em avançado estágio de consolidação, com características paisagísticas típicas das LCZs 8, 3, 6 e 3<sub>B</sub>.

As maiores intensidades (> 6,1 °C), limiares da magnitude muito forte, também foram observadas nesta espacialização, sendo menos abundantes que as demais verificadas e concentradas nas áreas centro-oeste e noroeste da malha, nas quais se constatou elementos característicos das LCZs 6, 3 e 8.

A forma da ilha de calor descrita para a data anterior, muito se assemelha com a observada para 11/09, principalmente no que diz respeito às magnitudes e suas correlações com as características paisagísticas. Assim, verificou-se que os valores correspondentes com a ilha de frescor, se associaram com as LCZs A e D<sub>F</sub>, principalmente quando distantes das áreas construídas.

A fraca magnitude pouco variou espacialmente, em alguns casos sendo substituída por valores abaixo de 0 °C nas áreas cultiváveis mais distantes da malha urbana, mas ainda assim permaneceu predominantemente associada com pequenas áreas de solo exposto e cultiváveis mais próximas às áreas construídas consolidadas. Novamente, a média magnitude apresentou correlação com porções das LCZs D<sub>F</sub>, 9 e F na transição rural-urbano e com áreas de LCZ 3<sub>B</sub> no entorno do Parque Florestal (porção norte da cidade).

A malha urbana consolidada e porções da expansão territorial urbana na porção Oeste, foram as responsáveis pela constatação das magnitudes forte e muito forte da ilha de calor, sendo a primeira associada com as características das LCZs 3, 3<sub>B</sub>, 6 e 8, enquanto a segunda se vinculou com a LCZ 6 da porção centro-oeste da cidade.

Em comparação com os dois episódios anteriores, o padrão espacial da ICU observada para 18/09 apresentou modificações, como a expansão dos valores típicos da média magnitude, a retração espacial da forte magnitude e, principalmente, a ausência da forte magnitude.

A ocorrência da forte magnitude nas porções noroeste e centro-oeste da malha urbana se justifica pelos aspectos paisagísticos associados às LCZs 6, 8, 3 e 3<sub>B</sub>, o que fundamenta a

predominância desta classe no intraurbano consolidado. Enquanto a média magnitude se associou às LCZs 9, 6, F e D<sub>F</sub> próximas da malha urbana e da LCZ 3<sub>B</sub> próximas do Parque Florestal, os valores representativos da fraca magnitude foram expressos em áreas cultiváveis (LCZ D<sub>F</sub>) mais afastadas do núcleo urbano consolidado e em pontos de vegetação rasteira (LCZ D).

Em síntese, tanto a observação da variação horária, quanto a espacialização das intensidades da ICU, confirmam as modificações na escala climática local em função das propriedades e características paisagísticas, dos aspectos físicos de Sinop e das condições atmosféricas atuantes. Assim, é possível destacar as seguintes características principais:

- Os sistemas atmosféricos instáveis detêm a capacidade de atenuarem a intensidade da ilha de calor e alterar a sua forma espacial;
- Para os episódios analisados, a FPA e seus desdobramentos (mPa e mPt) foram mais eficientes em alterar o padrão horário/espacial da ICU do que o registro de precipitação;
- As características paisagísticas referentes à malha urbana, tais como as LCZs 3, 3<sub>B</sub>, 6 e 8, se configuraram como as localidades mais aquecidas, quando comparadas com o ambiente rural;
- As LCZs D<sub>F</sub> expressaram valores similares à malha urbana e à vegetação arbórea densa, de acordo com a sua localização;
- A vegetação arbórea densa (LCZ A) se configurou como constante responsável pela observação de valores abaixo de 0 °C;
- A localização das características paisagísticas se faz um elemento de extrema importância, uma vez que é capaz de possibilitar que áreas densamente construídas apresentem diferenças térmicas similares à LCZ A.

Por fim, os resultados deste estudo ecoam descobertas semelhantes em cidades tropicais, como evidenciado em pesquisas anteriores, como as de Dorigon e Amorim (2019), Amorim (2020), Ortiz Porangaba *et al.* (2021) e outros. Esses estudos também destacaram o aumento de temperatura nas áreas urbanas devido às características locais e ao papel da vegetação na mitigação dos efeitos das ilhas de calor urbano. Os dados coletados em Sinop não apenas reforçam essas conclusões, mas também contribuem para o entendimento aprofundado dessa área de estudo.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados apresentados neste estudo, bem como os parâmetros de confiabilidade analisados nos modelos, atestam a influência das propriedades paisagísticas, dos elementos físicos e da organização espacial urbana na temperatura do ar de Sinop, sobretudo nas identificadas no intraurbano e proximidades. Verificou-se, também, que fatores como a

localização dos aspectos da paisagem e sistemas atmosféricos instáveis são capazes de alterar o padrão espacial e temporal da ilha de calor e/ou atenuar as intensidades averiguadas, podendo permitir a observação de diferenças térmicas para a LCZ 3 próximos a valores da LCZ A.

Salienta-se que a espacialização das intensidades reforça padrões verificados em estudos realizados em outras localidades (Dorigon; Amorim, 2019; Amorim, 2020, Ortiz Porangaba *et al.*, 2021), como áreas de vegetação arbórea densa como reduto das ilhas de frescor, sobretudo quando distantes das áreas construídas, enquanto a malha urbana se configura como local constante das magnitudes média, forte e muito forte.

Por fim, destaca-se que esta discussão sobre a variação horária e espacial da ICU não se encontra finalizada, sendo necessário um aprofundamento analítico que perpassasse por outros episódios sazonais em busca de uma caracterização refinada, podendo se utilizar da modelagem multicritério como ferramenta para essa ação.

## AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP (processo: 2021/08670-1); ao programa CAPES/COFECUB - processo: 88881.191765/2018-01; Sh 941/19 – projeto: CiCIAMEn (Cidades, Clima e Vegetação: Modelagem e Políticas Públicas Ambientais), pelo apoio financeiro.

## REFERÊNCIAS

AMORIM, M. C. C. T. **Ilhas de calor em cidades tropicais de médio e pequeno porte: teoria e prática**. 1. ed. Curitiba: Appris, 2020. v. 1. 161p.

AMORIM, M. C. C. T.; DUBREUIL, V.; CARDOSO, R. S. Modelagem espacial da ilha de calor urbano em Presidente Prudente (SP) – Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 16, p. 29-45, jan./jul. 2015. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/view/13802>. Acesso em: 20 jan. 2024.

AMORIM, M. C. T.; DUBREUIL, V.; AMORIM, A. T. Day and night surface and atmospheric heat islands in a continental and temperate tropical environment. **Urban Climate**, v. 38, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212095521001486>. Acesso em: 20 jan. 2024.

ARAÚJO, L. F.; AMORIM, M. C. C. T.; DUBREUIL, V.; ARVOR, D. A variação espacial da ilha de calor e sua associação com as características paisagísticas em Sinop-MT. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 31, n. 18, p. 384–412, 2022. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/view/15470>. Acesso em: 20 jan. 2024.

BRASIL – Departamento Nacional de Produção Mineral. **Projeto RADAMBRASIL – Folha SC.21**, Juruena: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1980.

- CARDOSO, R. S. **Classificação de potenciais unidades climáticas em Presidente Prudente/SP**. 2015. 137 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, 2015. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/138512>. Acesso em: 20 jan. 2024.
- CLAIRAY, M.; DUBREUIL, V. Etude de l'évolution diachronique de la Gleba Celeste (Mato Grosso) à partir d'images Landsat. **Espaço e Geografia**, v. 5, n. 1, p. 119-138, 2002. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/espacoegografia/article/view/39705>. Acesso em: 20 jan. 2024.
- DORIGON, L. P.; AMORIM, C. C. T. Spatial modeling of an urban Brazilian heat island in a tropical continental climate. **Urban Climate**, v. 28, 2019. Disponível em: <https://www.science-direct.com/science/article/abs/pii/S2212095518300646>. Acesso em: 20 jan. 2024.
- DUBREUIL, V.; DELAHAYE.; LE STRAT, A. Changements d'occupation du sol et leurs impacts climatiques au Mato Grosso, Brésil. **Confins**, [online], [Dossiê], n. 10, 2010. Disponível em: <https://journals.openedition.org/confins/6845>. Acesso em: 20 jan. 2024.
- DUBREUIL, V.; FANTE, K. P.; PLANCHON, O.; SANT'ANNA NETO, J. L. Os tipos de climas anuais no Brasil: uma aplicação da classificação de Köppen de 1961 a 2015. **Confins**, [online], n. 37, 2018. Disponível em: <https://journals.openedition.org/confins/15738>. Acesso em: 20 jan. 2024.
- DUBREUIL, V.; NEDELEC, V.; BARIOU, R.; MAITELLI, G. T. Estudo da urbanização e suas consequências sobre as temperaturas noturnas em Sinop/Mato Geosso. **Revista Matogrossense de Geografia**, [impresso], n. 07/08, p. 25-39, 2003.
- FOISSARD, X. **L'îlot de chaleur urbain et le changement climatique: application à l'agglomération rennaise**. f. 2015. These (Docteur) – Université Rennes II, Rennes, 2015. Disponível em: <https://theses.hal.science/tel-01381999>. Acesso em: 20 jan. 2024.
- GARTLAND, L. **Ilhas de Calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. 1. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2010.
- IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE cidades**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mt/sinop>. Acesso em: 25 ago. 2023.
- IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2022: população e domicílios - primeiros resultados**. IBGE/Coordenação Técnica do Censo Demográfico, 2023. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=2102011>. Acesso em: 10 jan. 2024.
- MENDONÇA, F. A. **O clima e o planejamento urbano de cidades de porte médio e pequeno: proposição metodológica para estudo e sua aplicação à cidade de Londrina/PR**. 1994. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.
- MONTEIRO, C. A. F. **Análise rítmica em Climatologia: problemas da atualidade climática em São Paulo e achegas para um programa de trabalho**. São Paulo: USP, 1971.
- MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e clima urbano**. 1975. 263 f. 1975. Tese (Livre-docência) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1975.
- OKE, T. R. **Boundary Layer climates**. 2. ed. London: Routledge, 1987.

- STEWART, I. D. **Redefining the urban heat island**. 2011. 368 f. Thesis (Doctor of Philosophy) - The Faculty of Graduate Studies, The University of British Columbia, Vancouver, 2011. Disponível em: <http://hdl.handle.net/2429/38069>. Acesso em: 20 jan. 2024.
- OLIVEIRA, M. L. P. O projeto de colonização particular da Gleba Celeste, na fronteira pioneira. **Geosul**, v. 3, n. 6, p. 21-38, 1988. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/geosul/article/view/12700>. Acesso em: 01 set. 2023.
- ORTIZ PORANGABA, G. F.; TEIXEIRA, D. C. F.; AMORIM, M. C. C. T.; SILVA, M. H. S.; DUBREUIL, V. Modeling the urban heat island at a winter event in Três Lagoas, Brazil. **Urban Climate**. 37, 100853, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212095521000833>. Acesso em: 20 jan. 2024.
- RAMPAZZO, C. R. **Clima urbano, risco climático e vulnerabilidade socioespacial mediados pela produção do espaço urbano em cidades paulistas (São Carlos, Marília e Presidente Prudente)**. 2019. 280 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, 2019. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/182355>. Acesso em: 20 jan. 2024.
- RIBEIRO, M. C. A.; PINTON, L. G.; CARDOSO, R. S.; AMORIM, M. C. C. T. Spatial and temporal dynamics of the urban heat island effect in a small Brazilian city. **Geographical research**, v. 61, n. 3, 2023. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1745-5871.12579>. Acesso em: 20 jan. 2024.
- ROMANCINI, S. R.; MARTINS, E. C. Sinop-MT: Uma abordagem sobre a dinâmica do espaço urbano-regional. In: MAITELLI, G. T.; ZAMPARONI, C. A. G. P. (org.). **Expansão da soja na pré-Amazônia mato-grossense: impactos socioambientais**. Cuiabá: Entrelinhas, 2007. p. 171-191.
- SETTE, D. M. Os climas do Cerrado do Centro-Oeste. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, n. 1, 2005. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/25225>. Acesso em: 20 jan. 2024.
- SOUZA, E. A. **Sinop: história, imagens e relatos, um estudo sobre sua colonização**. 2. ed. Cuiabá: EdUFMT/FAPEMAT, 2006.
- STEWART, I. D.; OKE, T. R. Local Climate Zones for urban temperature studies. **BAMS**, v. 93, n. 12, p. 1879-1900, 2012. Disponível em: <https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/93/12/bams-d-11-00019.1.xml>. Acesso em: 20 jan. 2024.
- TEIXEIRA, D. C. F.; AMORIM, M. C. C. T. Intensidade, magnitude e evolução diária da ilha de calor atmosférica em cidades de pequeno porte: análise simultânea a partir das zonas climáticas locais (LCZs). **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 30, n. 18, 2022. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/view/14882>. Acesso em: 20 jan. 2024.
- ZAVITOSKI, E. V. S. **Análise termohigrométrica nos eixos viários centrais da malha urbana original de Sinop-MT**. 2018. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2018. Disponível em: <http://ri.ufmt.br/handle/1/2710>. Acesso em: 20 jan. 2024.

## **INSTRUMENTOS DE POLÍTICA AMBIENTAL EM JACAREÍ: ESCOLHAS PARA A AÇÃO PÚBLICA E SUAS RELAÇÕES COM AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS**

*Eduardo de Lima Caldas  
Carla Moura de Paulo*

### **INTRODUÇÃO**

Cerca de 85% da população brasileira vive em cidades (IBGE, 2017). Sabe-se de antemão que muitas das cidades, principalmente as grandes, não são produtoras de água, alimento e energia, caracterizando-se, portanto, como “importadoras” desses recursos mal distribuídos no território, e entre a referida população. Essas cidades também se caracterizam por uma urbanização que suprime as áreas verdes para a produção de moradias (cada vez mais necessárias diante do inchaço populacional) e privilegia a pavimentação asfáltica, o que as torna impermeáveis diante das águas da chuva.

Assim, além daquelas mudanças climáticas que não necessariamente decorrem do modelo de urbanização, mas impactam as cidades, observa-se também um aumento da variabilidade climática e uma maior vulnerabilidade, principalmente em grandes cidades impermeáveis às águas da chuva e deficitárias de áreas verdes.

Portanto, diversos são os temas que influenciam o debate na arena política dos municípios, além dos já clássicos deslocamento, moradia, educação, saúde, tem-se a questão ambiental e, mais especificamente, a questão climática.

O local, então, passa a ser uma das principais escalas de atuação para uma gestão territorial que visa compatibilizar inclusão social, desenvolvimento econômico e meio ambiente.

Diante do referido desafio, observa-se um aumento de estudos articulando essas três questões em regiões metropolitanas e municípios grandes. No entanto, há poucos estudos que tratam da questão climática no âmbito local (Checco e Caldas, 2019) e que privilegiam os municípios pequenos e médios.

Por isso, o presente artigo busca compreender como alguns instrumentos de políticas públicas são utilizados na escala local para a definição e execução de ações públicas ambientais e fundamentalmente climáticas em uma cidade média da Região Metropolitana do Vale do Paraíba, no caso, Jacareí.

O artigo está organizado em cinco partes, além desta introdução e das conclusões: política ambiental e de mudanças climáticas em Jacareí; nota metodológica; aporte teórico; classificação metodológica das políticas ambientais de Jacareí; e, instrumentos de política ambiental e relações com mudanças climáticas em Jacareí.

### **NOTA METODOLÓGICA**

A pesquisa que dá origem a este artigo parte de um conjunto de procedimentos metodológicos com aspectos aproximativos e exploratórios.

Tanto a pesquisa quanto a estratégia metodológica se justificam pela relevância e pertinência do “locus” em que a pesquisa é realizada: um município médio para os padrões do Brasil, localizado no Vale do Paraíba (eixo Rio-São Paulo) cujo prefeito tem capacidade tanto de articulação no âmbito do “Consórcio Intermunicipal do Vale do Paraíba e Litoral Norte” (regional) quanto de formulação de políticas públicas e de busca de financiamentos, inclusive com recursos internacionais.

Para a realização dos trabalhos foram realizadas: observações livres a partir de várias visitas ao município; buscas e análises documentais a partir do acesso ao site municipal; e, “conversas” com gestores locais, desde servidores públicos concursados, assessores lotados em cargos de livre provimento e atores políticos lotados no primeiro escalão do Poder Executivo (Spink, 2008).

### **APORTE TEÓRICO**

“Instrumento” é um termo utilizado em muitas áreas de conhecimento e diz respeito às formas de regular diferentes aspectos das relações da sociedade com o Estado e induzir comportamentos dos atores políticos e sociais. Nestes termos, Lascoumes e Le Galès (2012) afirmam que os instrumentos de ação pública cumprem papel de instituição, capazes de induzir a ação dos referidos atores políticos e sociais. Na Ciência Ambiental, há os sistemas de consignação, licenças negociadas de emissões, pagamento por serviços ambientais e, a cada dia, surge um novo instrumento constituído a partir da ação entre os diversos atores e legitimado

nas hostes governamentais. No campo do direito e do urbanismo também há uma série de instrumentos.

Nos termos de Perret (2010), independentemente das áreas de conhecimento:

Se pudéssemos definir um consenso acerca de ‘instrumento’, poderíamos argumentar que eles são os meios, técnicas, mecanismos ou ferramentas de que o Estado pode valer-se para influenciar (modificar) os comportamentos dos atores socioeconômicos (o grupo alvo), a fim de alcançar um objetivo de política pública, supostamente para resolver um problema social (Perret, 2010, p. 29).

Ao definir um problema e, em seguida escolher um instrumento em detrimento do outro, ou seja, ao “instrumentalizar” a política pública, a ação governamental se materializa. Analisar uma política por meio de seus instrumentos envolve, portanto, estudar as representações e símbolos que os instrumentos carregam como marcas da concepção da política e dos valores a ela subjacentes.

A literatura sobre instrumentos de políticas públicas é profícua em tipologias, isto é, classificações dos instrumentos de acordo com suas diferentes lógicas (Lascoumes e Simard, 2011), que são úteis para estudar a instrumentação de uma política. Hood (1986), por exemplo, organiza os instrumentos governamentais em quatro tipos: informação (instrumentos de **nodalidade**), poderes legais (instrumentos de **autoridade**), recursos financeiros (instrumentos de **tesouro**) e recursos organizacionais formais (instrumentos de **organização**).

Para os instrumentos de nodalidade, o governo ocupa papel de centralidade, é detentor e disseminador da informação, opera como ponto central (nódulo – nodal) de uma rede de informações. No caso dos instrumentos de autoridade, o poder público é o órgão de referência e fonte de legitimidade. Assim, exerce seu poder legal (de comando e controle) legitimando a ação dos diversos atores envolvidos no processo de implementação da política pública.

Em se tratando dos instrumentos de tesouro, o poder público dispõe e distribui recursos financeiros para uso e fortalecimento das políticas públicas. Reconhecidos instrumentos de tesouro são os subsídios, incentivos fiscais e financiamentos diversos.

Finalmente, os instrumentos de organização dizem respeito à capacidade do governo de dirigir as ações no processo de implementação de uma política pública. Neste caso, os governos criam agências, núcleos, órgãos com designações específicas para a alta, média e baixa burocracias.

Embora a tipologia de Hood (1986) seja a mais disseminada, há outras classificações, como a de Salamon (2002) em que são identificados 14 tipos de instrumentos. A mais antiga delas foi desenvolvida por Etzioni (1972), mas o autor ainda não trata essa tipologia em termos de “instrumento”, mas como formas de controle: “*carrots, sticks and sermons*”. Assim, os instrumentos econômicos seriam classificados *carrots* (ou cenoura), os regulatórios como *sticks* (ou porrete), e os persuasivos como *sermons* (ou sermão). Mais recentemente, Bemelmans, Rist e Verdung (2011) retomaram esta tipologia de Etzioni, utilizando-a para tratar especificamente de instrumentos de políticas públicas.

Para os propósitos deste trabalho, a partir do reconhecimento dos instrumentos como aparato técnico e social que não é neutro, mas, pelo contrário, é expressão política de ideias e interesses, tanto a taxonomia de Hood (1986) quanto as de Etzioni (1972) e de Bemelmans, Rist e Verdung (2011) serviram para analisar a instrumentação da política ambiental de Jacareí.

## **POLÍTICA AMBIENTAL E DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS EM JACAREÍ**

A política ambiental compõe a gestão dos territórios e o ordenamento do acesso e uso dos recursos naturais. Em seu escopo, destacam-se ações discutidas e negociadas em diferentes escalas governamentais, principalmente em níveis global e nacional. Porém, os resultados de tais políticas irão se refletir localmente, sendo este o espaço de materialização e concretização do que foi acordado em níveis superiores. É bem verdade que, apesar do destaque de discussões em âmbitos global e nacional, há iniciativas locais inovadoras, algumas das quais tornam-se recomendações ou políticas nacionais.

De acordo com Mello-Théry *et al.* (2021):

Em 2016, o Programa de Governo do prefeito eleito, Izaias José Santana, não tratava da questão climática de forma explícita, embora tivesse nele questões implícitas tais como: no eixo mobilidade o compromisso de constituir “circuitos cicloviários nos bairros” e “ampliar a malha de ciclovia dos atuais 1,81 Km [sic] para 18 Km [sic], interligando a atual ciclovia aos prédios públicos e conectando diversos bairros”. É verdade que não faz menção à possibilidade de instituir corredores de ônibus e tampouco uma “ecofrota” ainda que experimental; nos eixos meio ambiente e bem viver e sustentabilidade há uma série de compromissos como “ampliar o Programa Municipal de Coleta Seletiva”, “fortalecer um circuito de produtores familiares com base agroecológica”, “implantar um Programa Municipal de Agricultura Urbana”, “criar o Programa de Praças e Parques Públicos” e a criação de um “Plano Municipal de Arborização como ação prioritária (Mello-Théry *et al.*, 2021, p. 7).

De acordo com os autores acima citados, o enfrentamento da questão climática não está explícito, apesar da existência de ações tanto mitigatórias quanto adaptativas.

Essa ausência, por um lado, pode ser interpretada como falta de percepção da relevância sobre o tema; por outro lado, pode ser interpretada como uma forma de tratar o assunto a partir de “portas de entrada” mais comuns aos atores políticos e sociais da localidade.

A segunda hipótese interpretativa ganha força quando se observa o conhecimento do prefeito municipal com relação ao assunto. Segundo Mello-Théry *et al.* (2021):

Mesmo o tema não estando explícito nas políticas e seus desdobramentos, quando no encontro com o prefeito municipal, é clara sua percepção quanto as [sic] relações entre bairros mais ou menos vegetados, mais ou menos próximos à rodovia, em sítios geográficos distintos. Ele (o prefeito municipal) elenca os bairros Parque Califórnia e Jardim Califórnia e Vila Branca que estão no mesmo platô, mas possuem características sociais muito distintas sugerindo a ampliação das medições. Ressalta, assim que a variável relevo fica isolada e a variável social passa a ter maior importância para explicar eventual mudança de parâmetros climáticos. Por outro lado, ressaltou o fator adensamento e área verde em dois outros bairros, Cidade Salvador e Jardim Paraíso, ambos bairros localizados muito próximos. O primeiro, muito adensado e sem área verde e o segundo, menos adensado e com mais área verde” (Mello-Théry *et al.*, 2021, p. 10-11).

Então, o que resta saber é se ao longo do mandato e da reeleição o município de Jacareí, por meio da iniciativa do Poder Executivo e do debate e formalização de instrumentos legais no âmbito do Poder Legislativo, a política de enfrentamento às mudanças climáticas tornou-se mais visível ou, se continuou indireta, implícita em instrumentos de políticas ambientais setoriais.

## **CLASSIFICAÇÃO METODOLÓGICA DAS POLÍTICAS AMBIENTAIS DE JACAREÍ**

O propósito dessa seção é apresentar os principais instrumentos de ação pública desenvolvidos em Jacareí desde 2017. Embora não tenhamos feito uma pesquisa sobre a construção da agenda climática no município, parte-se da hipótese que a partir deste momento, a agenda ambiental ganha força porque aparece amparada em objetivos e metas no programa de governo do prefeito eleito em 2016, onde a questão climática aparece na agenda de forma indireta, embora ganhe força a partir de então. Assim, para cada lei diretamente relacionada com o tema ambiental e diretamente e indiretamente relacionada com o tema climático, faz-se uma leitura destacando cada instrumento de ação pública inserido em cada uma das referidas leis pesquisadas.

O Quadro 1 a seguir apresenta um conjunto de instrumentos de ação pública que incidem diretamente sobre a questão ambiental. Nem todos os instrumentos incidem diretamente sobre a questão climática. A classificação é feita de acordo com a literatura apresentada anteriormente. Nestes termos, para cada instrumento busca-se realizar uma classificação a partir de Hood (1986) e Bemelmans, Rist e Verdung (2011). Assim: N = nodalidade / A = autoridade / T = Tesouro / O = Organização / C = Cenoura / P = Porrete / S = Sermão.

**Quadro 1** - Tipo de Instrumento (N-A-T-O-C-P-S) segundo Leis, Políticas, Planos e Programas.

<b>Leis, Políticas, Planos e Programas</b>	<b>N</b>	<b>A</b>	<b>T</b>	<b>O</b>	<b>C</b>	<b>P</b>	<b>S</b>
<b>IPTU Verde – Lei 6.174/2017</b>	X	X	X	X	X		
Instituição de programa de incentivo através do IPTU Verde			X	X	X		
Definição dos requisitos do imóvel residencial no âmbito do IPTU	X	X		X			
Definição de possíveis ações de fiscalização para conferência da veracidade da informação apresentada pelo beneficiário				X			
<b>Lei 6.229/2018 – Política municipal de educação ambiental</b>	X	X	X	X			X
Aprovação da lei que institui Política Municipal de Educação Ambiental e o Programa Municipal de Educação Ambiental no Município de Jacareí		X		X			
Definição dos conceitos principais que estruturam a legislação, como educação ambiental e seus princípios	X						
Definição dos objetivos da implantação de uma política de educação ambiental em Jacareí	X						X
Definição das ações a serem desenvolvidas no âmbito da educação formal e não formal		X					X
Definição dos procedimentos para execução da política e do programa municipal de educação ambiental		X					X
Definição do papel de cada instituição, sejam elas públicas ou privadas, no âmbito da implementação e participação na política e programa em questão		X		X			
Instituição da necessidade de métodos de monitoramento e avaliação, pelo poder público, das ações no âmbito da política		X		X			
Definição dos critérios a serem analisados na seleção dos planos e programas para alocação dos recursos públicos			X	X			
<b>Instituição do Promea – Programa Municipal de Educação Ambiental de Jacareí</b>	X	X		X			X
Definição das justificativas do Promea	X						

Continua

## Continuação

Definição das seguintes diretrizes do Promea: transversalidade e interdisciplinaridade; descentralização espacial e institucional; sustentabilidade socioespacial; democracia e participação social; aperfeiçoamento e fortalecimento dos sistemas de educação ambiental formal e não formal	X	X		X			
Definição dos princípios e objetivos do Promea	X	X					X
<b>Licenciamento Ambiental e criação do Fundo Municipal do Meio Ambiente</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>		<b>X</b>	<b>X</b>
Definição das licenças a serem concedidas pelo município, considerando empreendimentos e atividades com impactos locais		X		X			X
Apresentação dos principais conceitos que regem a legislação e o processo de licenciamento	X						
Definição dos prazos para pedidos de licenciamento e períodos de validades das licenças concedidas		X		X			
Exigência e definição dos critérios para publicidade dos pedidos de licença, instituindo as despesas por conta do interessado			X				
Instituição do Fundo Municipal de Meio Ambiente, com gestão financeira do conselho municipal de meio ambiente sob orientação da secretaria de finanças			X	X			
Definição das fontes para a receita do fundo e suas aplicações		X	X	X			
Definição da necessidade de regularização dos empreendimentos e atividades sujeitos ao licenciamento municipal que operam sem a devida licença, em até 12 meses após a publicação da lei		X		X		X	
<b>Diretoria de proteção animal</b>	<b>X</b>						
Definição das atribuições e responsabilidades da diretoria	X			X			X
Recomendações para a população em caso de encontros com animais silvestres	X						X
Disponibilização de local para recolhimento de animais domésticos falecidos para correta incineração	X			X			X
Divulgação do decreto para captura de animais de grande porte soltos na via		X		X		X	
Informação sobre vacinas e mutirões para vacinação animal	X			X	X		
Informação e disponibilização de castração gratuita para animais domésticos do município	X		X	X	X		
<b>Diretoria de sustentabilidade e educação ambiental</b>	<b>X</b>	<b>X</b>		<b>X</b>	<b>X</b>		<b>X</b>
Realização de projetos socioambientais no município e concretização de parcerias com instituições de ensino para concretização de alguns deles				X	X		

Continua

## Continuação

<b>Plantio e compensação ambiental de espécies arbóreas</b>	X	X				X	
Providências sobre o plantio, supressão, poda, transplante, substituição, imunidade ao corte e compensação ambiental de espécies vegetais arbóreas na área urbana do município		X				X	
Apresentação dos principais conceitos que regem a lei em questão	X						
<b>Lei 6.485/2022 – Programa Renascentes de Jacareí</b>	X	X	X		X	X	
Instituição de programa para conservação e recuperação de mananciais, com adesão voluntária para pessoas que contribuam com restauração e conservação de florestas e mananciais, manutenção da biodiversidade, melhoria da disponibilidade e qualidade de água no município, e redução das emissões de gases de efeito estufa	X	X	X		X	X	
Definição dos conceitos principais que estruturam a legislação	X						
Prestação de apoio técnico e financeiro aos produtores rurais					X		
Instituição de Pagamento por Serviços Ambientais, com sanções caso desvio de finalidade						X	
<b>Lei contra queimadas – Lei 6.471/2022</b>		X		X		X	
Proibição de queimadas no município de Jacareí e definição de sanções		X		X		X	
<b>PMMA (Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica) – Lei 6.553/2023</b>	X	X		X			X
Aprovação do plano municipal de conservação e recuperação da Mata Atlântica (PMMA) de Jacareí – SP		X					X
Elaboração do PMMA, contendo: diagnóstico das áreas; objetivos; estratégias e ações prioritárias; e monitoramento e avaliação	X			X			X

Fonte: autores (2024).

O programa de incentivo denominado IPTU Verde foi regulamentado pela Prefeitura de Jacareí em 2017, a fim de incentivar a adoção de medidas de proteção ambiental em imóveis residenciais. Seu caráter visa premiar as pessoas proprietárias de imóveis que atendam aos requisitos especificados pela legislação, concedendo desconto no IPTU. Por isso, está vinculado a uma ideia de oferecer benefícios como forma de incentivar o cumprimento da legislação ou a aderência a determinadas ações e/ou programas governamentais. Sendo assim, sua classificação na tabela acima está definida como “cenoura”.

Seu texto também esclarece a população sobre a importância das ações realizadas, trazendo informação útil sobre as questões envolvidas, definindo claramente as normas e os requisitos necessários para acessar o benefício e as formas de fiscalização referentes ao cumprimento de tais condições. Sendo assim, estabelece algum vínculo com “nodalidade

(muito embora não se construa uma política de coleta de dados e geração de informação), autoridade e organização”. Além disso, a lei cita a origem do recurso para as despesas para execução do benefício, indicando a relação com a classificação “tesouro”.

A Política Municipal de Educação Ambiental se relaciona com quase todas as classificações apresentadas na tabela, com exceção das classificações “cenoura” e “porrete”. Isto se deve ao fato de tal legislação definir conceitos, objetivos, ações e procedimentos para a sua implantação, versando tanto sobre a disponibilização da informação quanto sobre a definição de estratégias para sua concretização. Além disso, também estabelece os critérios para seleção e alocação dos recursos públicos, vinculando-se ao “tesouro” na classificação apresentada. O Programa Municipal de Educação Ambiental - PROMEA - estabelece as principais diretrizes, orientando as ações, definindo formas de implantação e transmitindo as informações necessárias para sua implementação. Apresenta também as principais justificativas que sustentam sua importância para o município. Por isso, vincula-se às seguintes classificações da tabela: “nodalidade, autoridade, organização e sermão”.

O licenciamento ambiental, juntamente com a criação do fundo municipal de meio ambiente contempla todas as classificações analisadas, exceto aquela denominada como “cenoura”. Assim foi classificado, pois define regras para o licenciamento de empreendimentos e atividades, apresenta as informações relacionadas com os principais conceitos, define prazos e validades, e estabelece exigências e sanções no caso daqueles que operam sem as devidas autorizações. Além disso, institui o fundo municipal de meio ambiente, definindo os órgãos responsáveis por sua gestão financeira.

A Diretoria de Proteção Animal se enquadrou em todas as classificações definidas na tabela, pois possui um leque abrangente de atividades que vão desde recomendações sobre ações adequadas ao se deparar com animais silvestres, passando por campanhas de vacinação e castração, até a disponibilização de serviço para recepção de animais domésticos falecidos. Dentre suas atividades, existem aquelas que estabelecem sanções e por isso são definidas como “porrete”. Este é o caso da regulamentação para captura de animais de grande porte soltos nas vias públicas.

A Diretoria de Sustentabilidade e Educação Ambiental é outro órgão importante no contexto das políticas ambientais de Jacareí. Grande parte de suas atividades são voltadas para a realização de projetos socioambientais, e divulgam informações essenciais para o fortalecimento da proteção ambiental no município. Além disso, muitas parcerias são estabelecidas com instituições de ensino, oferecendo cursos e palestras gratuitas para a

população, fato este que foi entendido como incentivo e, por isso, denominado como “cenoura” nesta classificação.

Jacareí também apresenta uma legislação específica para regulamentar o plantio, a supressão e a compensação ambiental de espécies arbóreas. Tal lei caracteriza-se mais pelo “porrete” do que pela “cenoura”.

O Programa Renascentes de Jacareí institui ações para recuperação e conservação de mananciais, com benefícios técnicos e financeiros para pessoas que se enquadrem no perfil contemplado e realizem a adesão voluntária. Este programa foi enquadrado nas classificações de “nodalidade, autoridade, tesouro, cenoura e porrete”, por possuir uma característica abrangente para sua implementação. Ao mesmo tempo em que proporciona todas as informações necessárias e organiza a implementação de um novo instrumento político e financeiro, como o PSA, o programa oferece benefícios para atrair o público-alvo e estimular as ações de recuperação/conservação ambiental. Porém, também define claramente as sanções a serem aplicadas no caso de desvio de finalidade da verba para a implementação de tais ações. Tal atitude mostra sua relação tanto com a classificação “cenoura”, que distribui benefícios, quanto com a classificação “porrete”, que castiga aqueles que não cumprem com o acordo estabelecido.

A lei contra queimadas é específica para a proibição dessa ação em áreas do município e por isso está classificada como “porrete”. Também é compreendida como “autoridade e organização”, por exercer seu papel legal e assumir o controle para a concretização de ações e sanções que visam eliminar a prática das queimadas.

Por fim, o Plano Municipal de Conservação e recuperação da Mata Atlântica traz as informações sobre a necessidade de proteção do bioma, e qual a situação do município frente o desafio de sua proteção. Além disso, estabelece o levantamento de informações e estratégias para concretizar as ações de conservação definidas. Devido este contexto, foi classificado como “nodalidade, organização e sermão”.

## **INSTRUMENTOS DE POLÍTICA AMBIENTAL E RELAÇÕES COM MUDANÇAS CLIMÁTICAS EM JACAREÍ**

Considerando que um dos objetivos deste artigo é averiguar como o enfrentamento às mudanças climáticas é tratado no âmbito municipal por meio da formulação e implementação de instrumentos de ação pública, busca-se, nesta seção, apresentar um quadro que relacione as

leis, políticas, planos e programas anteriormente analisados com a questão climática. O Quadro 2 permite uma compreensão visual mais assertiva sobre o tema.

**Quadro 2** - Relação das leis, políticas, planos e programas com o enfrentamento às mudanças climáticas.

Leis, Políticas, Planos e Programas	Relações com Mudanças Climáticas			
	Diretas	Indiretas	Não há	Justificativa
Lei 6.174/2017 – IPTU Verde		X		Essa lei não menciona relação com o tema de mudanças climáticas, porém trata-se de lei com forte aspecto de mitigação e também de adaptação às mudanças climáticas.
Lei 6.229/2018 – Política municipal de educação ambiental		X		Apesar de não haver menção direta às políticas e de mudanças climáticas, é certo que o tema aparecerá no decorrer de sua implantação e execução. Isto porque visa divulgar e informar sobre temas de meio ambiente, dentro de uma perspectiva da educação formal e não formal.
Instituição do Promea – Programa Municipal de Educação Ambiental de Jacareí		X		A narrativa que justifica a lei e seu conteúdo não explicita a preocupação com a questão climática.
Licenciamento Ambiental e criação do Fundo Municipal do Meio Ambiente	X			Ao licenciar as atividades que geram degradação e impactos ambientais locais, o município regula ações que contribuem diretamente com as modificações do clima, como a queima de combustíveis fósseis por empreendimentos não industriais, embora não se use o termo mudança climática na lei.
Diretoria de proteção animal			X	As ações da diretoria de proteção animal não versam sobre questões relacionadas com as mudanças climáticas.
Diretoria de sustentabilidade e educação ambiental		X		As ações dessa diretoria se relacionam com questões ambientais diversas e com a implantação de diferentes políticas e programas municipais, muitos dos quais versam de maneira direta ou indireta sobre questões climáticas, conforme já demonstrado.

Continua

Continuação

Plantio e compensação ambiental de espécies arbóreas	X			Apesar de não ter objetivo explícito de contribuir com questões de modificação do clima, sua concretização pelo poder público traz benefícios diretos relacionados com o tema, já que a existência de espécies arbóreas auxilia na redução da temperatura local e na amenização de ilhas de calor, além de contribuir com a biodiversidade presente no município.
Lei 6.471/2022 – Lei contra queimadas	X			A lei em questão não cita, em nenhum momento, as modificações do clima como justificativa ou embasamento para sua existência. Porém, as relações entre queimadas e emissões de gases de efeito estufa (GEE) são diretas, amplamente conhecidas e divulgadas tanto cientificamente quanto popularmente. Por isso, pode-se considerar que esta é uma legislação que atende a uma demanda municipal para melhoria da qualidade de vida e proteção ambiental, mas também atua em consonância com as demandas nacionais e globais para redução das emissões de GEE.
Lei 6.485/2022 – Programa Renascentes de Jacareí	X			As ações de recuperação e conservação de mananciais, foco do programa, estão diretamente relacionadas com questões climáticas, já que a destruição de áreas florestadas está entre os principais fatores de alteração do clima. Além disso, o programa também estabelece benefícios para ações que contribuam com a redução das emissões de GEE, mostrando explicitamente sua preocupação em promover ações capazes de combater ou mitigar as mudanças climáticas. Apesar disso, a questão climática não está explícita na lei.
Lei 6.553/2023 – PMMA	X			O PMMA pode ser considerado como a única ação pública analisada pelo presente trabalho que deixa explícito preocupações e ações voltadas para a compreensão e o combate das mudanças climáticas pelo município. O documento possui um capítulo dedicado a discutir as modificações do clima, no qual apresenta dados sobre as mudanças climáticas no município e região, além de uma avaliação do risco climático.

Fonte: autores (2024).

Nota-se que todas as ações governamentais analisadas possuem relação com o tema das mudanças climáticas, com exceção da criação da diretoria de proteção animal. Esta análise indica que as ações públicas municipais estão em consonância com uma preocupação mundial. Apesar disso, a narrativa presente nas justificativas das leis e no “empilhamento” de seus objetivos não mencionam a questão climática.

Neste sentido, é pertinente considerarmos a seguinte reflexão:

Quanto ao tema não estar presente nas políticas locais seria, portanto, um processo habitual pois em geral as políticas em diferentes escalas administrativas reproduzem a política nacional e/ou a estadual, ainda que se deva reconhecer a primazia e vanguarda do município de São Paulo, primeiro ente federativo a instituir uma política de mudança climática (Checco e Caldas, 2019). Trata-se, portanto, de uma questão bastante recente e atual para que os municípios se preocupem com ela. No entanto, alguns tomadores de decisão começam a perceber a urgência da situação e a estabelecer novas estratégias para reduzir os efeitos ou para a ela se adaptar (Mello-Théry *et al.*, 2021, p. 6).

Portanto, a análise das políticas, planos e programas em questão, nos permite identificar como as preocupações sobre as mudanças climáticas estão presentes nas ações municipais, ainda que não sejam apresentadas de maneira explícita.

## CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou uma análise da política ambiental de Jacareí no período mais recente (2017-2023), a partir de uma abordagem que joga luz nos instrumentos de políticas públicas escolhidos para concretizá-las, classificando-as de acordo com a literatura consolidada sobre o tema. O foco central, entretanto, foi a realização de um “memorando” no sentido de recuperar e registrar ideias presentes nas políticas públicas ambientais em Jacareí.

Foi possível observar que o poder público municipal trabalha com diferentes estratégias para instrumentação das políticas, que vão desde o oferecimento de benefícios para adesões voluntárias em programas de proteção e conservação ambiental, até definições de regras mais rígidas, ações mais autoritárias e sanções em caso de descumprimento de acordos pré-estabelecidos.

Sobre a presença da dimensão climática nas políticas ambientais, identificou-se que a mesma permeia todas as analisadas, com exceção de uma que vigora especificamente para a proteção animal. Porém, a preocupação está presente de maneira mais indireta e raramente aparece de forma explícita. Se, por um lado pode-se refletir que isto ocorre, pois as questões

ambientais são interligadas de maneira intrínseca, logo, uma ação para proteção do meio ambiente irá incidir ou se desdobrar em outra que se relacione com as modificações do clima. Por outro lado, é possível considerar a existência de ações do governo municipal para o combate e mitigação das mudanças climáticas em sua escala de atuação local, mesmo que o discurso não apresente claramente esta preocupação como foco central para orientação das políticas, planos e programas ambientais.

Observou-se que há um esforço mais recente de “caráter adaptativo” da cidade às mudanças climáticas, embora o tema não apareça explicitamente.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

BEMELMANS-VIDEC, M. L.; RIST, R. C.; VEDUNG, E. **Carrots, Sticks and Sermons: Policy Instruments and Their Evaluation**. New Brunswick, NJ, USA: Transaction Publishers, 1998.

CALDAS, E. de L.; MASSARDIER, G. La climatisation des politiques dans un contexte de fragmentation et sectorialisation des agendas et de la mise en œuvre des instruments, **Confins**, v. 46, 2020.

CHECCO, G. B.; CALDAS, E. L. Governos subnacionais e a Política de Mudanças Climáticas de São Paulo: uma análise a partir da multiposição dos atores na cidade de São Paulo, **Confins**, v. 39, 2019.

ETZIONI, A. **Organizações Modernas**. São Paulo: Atlas, 1972.

HOOD, C. Intellectual obsolescence and intellectual makeovers: reflections on the tools of government after two decades. **Governance: an international journal of policy, administration, and institutions**, v. 20, n. 1, p. 127-144, jan. 2007.

HOOD, C. **The tools of government Chatham**. NJ: Chatham House Pblrs., 1986.

HOWLETT, M.; RAMESH, M.; PERL, A. **Studying public policy: policy cycles and policy subsystems**. 3 ed. Oxford University Press, 2009.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Perfil dos municípios brasileiros. **IBGE**, Coordenação de População e Indicadores Sociais. Rio de Janeiro, 2017.

JACAREÍ. **Lei n. 6.174**, de 2017. Institui o Programa de Incentivo denominado “IPTU Verde” no Município e dá outras providências. Disponível em: <http://legislacao.jacarei.sp.gov.br:85/jacarei/images/leis/image/L61742017.htm>. Acesso em: 6 out. 2023.

JACAREÍ. **Lei n. 6.229**, de 10 de outubro de 2018. Institui a Política Municipal de Educação Ambiental e o Programa Municipal de Educação Ambiental e dá outras providências. Disponível em: <https://www.jacarei.sp.gov.br/wp-content/uploads/2022/05/LEI-N%C2%BA-6.2292.pdf>. Acesso em: 6 out. 2023.

JACAREÍ. **Lei 6.471**, de 2022. Dispõe sobre a proibição de queimadas no Município de Jacareí, estabelece penalidades e dá outras providências. Disponível em: <http://legislacao.jacarei.sp.gov.br:85/jacarei/images/leis/html/L64712022.htm>. Acesso em: 6 out. 2023.

JACAREÍ. **Lei 6.481**, de 2022. Disciplina o plantio, supressão, poda, transplante, substituição, imunidade ao corte e compensação ambiental de espécies vegetais arbóreas, em área urbana no município de Jacareí, e dá outras providências. Disponível em: <http://legislacao.jacarei.sp.gov.br:85/jacarei/images/leis/html/L64812022.htm#:~:text=Lei%20n%C2%BA%206481%2F2022&text=Disciplina%20o%20plantio%2C%20supress%C3%A3o%2C%20poda,Jacare%C3%AD%2C%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%Aancias>. Acesso em: 6 out. 2023.

JACAREÍ. **Lei n. 6.485**, de 2022. Cria o Programa Renascentes de Jacareí para conservação e recuperação de mananciais e autoriza o Poder Executivo a prestar apoio técnico e financeiro aos produtores rurais e dá outras providências. Disponível em: [https://www.jacarei.sp.leg.br/wp-content/uploads/2022/01/LEI-6485-01\\_projeto-PL-016.2022-Izaias-Programa-Renascentes-de-Jacare%C3%AD.pdf](https://www.jacarei.sp.leg.br/wp-content/uploads/2022/01/LEI-6485-01_projeto-PL-016.2022-Izaias-Programa-Renascentes-de-Jacare%C3%AD.pdf). Acesso em: 6 out. 2023.

JACAREÍ. **Lei 6.553**, de 2023. Aprova o Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica - PMMA. Disponível em: <http://legislacao.jacarei.sp.gov.br:85/jacarei/images/leis/image/L65532023.htm>. Acesso em: 6 out. 2023.

JACAREÍ. **Licenciamento Ambiental e criação do Fundo Municipal do Meio Ambiente**. Disponível em: <https://www.jacarei.sp.leg.br/wp-content/uploads/2019/05/PLE-n%C2%BA-05-2019-licenciamento-ambiental-e-Fundo-Municipal-de-Meio-Ambiente.pdf>. Acesso em: 6 out. 2023.

JACAREÍ. **Diretoria de proteção animal**. Disponível em: <https://www.jacarei.sp.gov.br/protECAoanimal/>. Acesso em: 6 out. 2023.

LASCOUMES, P.; LE GALÈS, P. A ação pública abordada pelos seus instrumentos. **Revista Pós - Ciências Sociais**. São Luís, v. 9, n. 18, p. 19-44, 2012.

MELLO, N. A. de. **Políticas territoriais na Amazônia**. São Paulo: Annablume, 2006.

MELLO-THÉRY N. A. de; CAVICCHIOLI, A.; CALDAS, E. de L. Iniciativas e ações públicas para mitigação da ilha de calor urbana em cidades médias: o caso de Jacareí-SP. *In*: Espaço e Economia. **Revista brasileira de geografia econômica**. Ano X, n. 21, 2021.

OLLAIK, L. G.; MEDEIROS, J. J. Instrumentos governamentais: reflexões para uma agenda de pesquisas sobre implementação de políticas públicas no Brasil. **RAP – Revista de Administração Pública**, Rio de Janeiro, v. 45(6), p. 1943-47, nov/dez. 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rap/a/W9Q8g6LXrPJkFSRj9mrVxCt/?lang=pt>. Acesso em: 20 maio 2024.

PAULO, C. M. de. **As políticas de biodiversidade e de mudanças climáticas: (des)articulações e reflexos sobre o mosaico de conservação do Cristalino/MT**. 2016. Tese (Doutorado em Ciência Ambiental). Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/106/106132/tde-13072016-110405/pt-br.php>. Acesso em: 6 out. 2023.

SPINK, P. K. O pesquisador conversador no cotidiano. **Psicologia & Sociedade**, São Paulo, ano 20, Edição Especial, p. 70-77, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/psoc/a/6Sc7z55mBgkxxHPjrDvJHXJ/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 6 out. 2023.

## **RENNES, UMA CIDADE CLIMATICAMENTE INTELIGENTE? IOT A SERVIÇO DO MONITORAMENTO DAS ILHAS DE CALOR URBANAS**

*Vincent Dubreuil  
Charlotte Brabant  
Gabriel Delaunay  
Jean Nabucet  
Hervé Quenol  
Frédéric Clain  
François Leprince  
Jérôme Dreano  
Laurent Georget*

### **INTRODUÇÃO**

O monitoramento das condições climáticas tornou-se uma grande questão contemporânea em diferentes escalas. Na escala global, as alterações climáticas são objeto de numerosos estudos regularmente resumidos pelo IPCC (IPCC, 2021). Na escala regional, os impactos relacionados com certos processos, como o desmatamento, ou riscos como as cheias ou as secas são também objeto de muitas preocupações. Na escala local, nas cidades, as alterações climáticas globais são amplificadas pelo aquecimento produzido localmente pelo fenômeno das ilhas de calor urbanas (ICUs).

Uma cidade inteligente (Smart City) deve também enfrentar vários desafios: otimização do consumo de recursos (água, energia); acesso à informação dos seus utilizadores (transportes, estacionamento, etc.); bem-estar diário (ambiente, regional planejamento, segurança); e, antecipação de mudanças (clima, modo de vida e trabalho etc.). A observação do clima urbano tornou-se, assim, essencial e conheceu um crescimento considerável nas últimas décadas. O rápido crescimento das cidades, em termos de população (UN, 2015), levou ao aumento das atividades urbanas e à criação de ilhas de calor (Oke, 1987).

Embora o sobreaquecimento urbano seja conhecido há muito tempo, os estudos sobre ilhas de calor urbanas desenvolveram-se nas últimas décadas. Na França, a onda de calor de 2003, os alertas de poluição, e a necessidade de implementar PCAETs (Plano Clima, Ar e Energia Territorial) levaram muitas cidades a estabelecer monitoramento em parceria com

equipes de pesquisa. Com efeito, o monitoramento climático em grande escala requer protocolos específicos que muitas autoridades locais não dominam; por isso é lógico que as primeiras experiências tenham sido realizadas em cidades universitárias onde estiveram presentes equipes especializadas nestas questões (Toulouse, Dijon, Paris e Rennes, entre outras).

Em Rennes, o monitoramento começou em 2003 com uma primeira rede de estações automáticas: a Rede Urbana de Rennes (RUN = Rennes Urban Network). A partir de 2019, o advento das soluções conectadas e a queda no custo dos sensores levaram a uma reformulação do sistema de observação, agora baseado nas tecnologias de Internet e LoRaWAN<sup>13</sup>. Este artigo se propõe a descrever a implementação de um sistema único na França explicitando a sua história, os seus princípios e as suas implicações concretas em termos de monitoramento em tempo real da ICU.

## **AS FASES DA IMPLEMENTAÇÃO DO MONITORAMENTO DA ICU EM RENNES**

### **UMA HISTÓRIA DE PÁSSAROS E ONDAS DE CALOR**

No início dos anos 2000, em Rennes, como em outros locais, a exigência social de um caráter de proximidade, da possibilidade de circulação de bicicletas e pessoas, da procura de uma imagem de qualidade de vida para a cidade, e da legibilidade de novos projetos de desenvolvimento, defendeu o desenvolvimento de ligações verdes, mas também a manutenção de uma certa biodiversidade. No entanto, o conhecimento biológico relativo aos ambientes urbanizados permaneceu muito limitado, mesmo que alguns táxons tenham sido mais objeto de censos e comparações entre cidades e campos.

Contudo, as exigências sociais, a extensão geográfica dos ambientes urbanizados e o seu possível papel na conservação da natureza exigem a consideração dos tipos de espécies animais e vegetais presentes no ambiente urbano. Além disso, existe o desejo de limitar a manutenção de certos espaços públicos por razões econômicas e ecológicas. Por diversas razões (ecológicas, de saúde ou sociais), certas espécies são frequentemente desejadas e, portanto, favorecidas e outras devem ser mantidas afastadas da proximidade do homem: em Rennes, os incômodos causados pelas invasões noturnas de estorninhos (aves invasoras) que vêm formar

---

<sup>13</sup> LoRaWAN é um protocolo de telecomunicações que permite a comunicação em baixa velocidade, por rádio, de objetos com baixo consumo de energia comunicando-se através da tecnologia LoRa e conectados à Internet através de gateways, participando assim da Internet das Coisas (IOT).

ninhos na cidade, contribuíram para esta pesquisa em ecologia urbana sobre a compreensão das relações biológicas cidade-campo.

É neste contexto que nasceu o projeto ECORURB (Ecologia – Rural/Urbana), que visa estudar as cidades de Rennes e Angers para compreender a “Dinâmica das espécies e dos espaços na interface cidade-campo” na caracterização (1) das espécies envolvidas e suas características de vida, e (2) no papel das estruturas da paisagem na manutenção da biodiversidade e no fluxo de indivíduos entre os sistemas urbanos e rurais (Dubreuil *et al.*, 2010).

A escolha dos fatores ambientais é, portanto, deliberadamente restrita às estruturas paisagísticas e à climatologia local. Uma análise de alta resolução espacial e temporal deve permitir definir as trajetórias de ocupação do solo e tipificar os objetos geográficos de acordo com a sua dinâmica (trabalho realizado no âmbito de um Sistema de Informação Geográfica, nomeadamente a partir de dados de sensoriamento remoto).

A análise climatológica deve ser realizada sobre o gradiente de urbanização. Desde o início, a questão da ilha de calor urbana está, portanto, no centro do sistema de investigação. O laboratório COSTEL (Clima e Uso do Solo por Sensoriamento Remoto), hoje LETG-Rennes, como componente de Rennes do UMR-LETG (Litoral, Meio Ambiente, Teledetecção, Geomática), é o órgão responsável por esta questão.

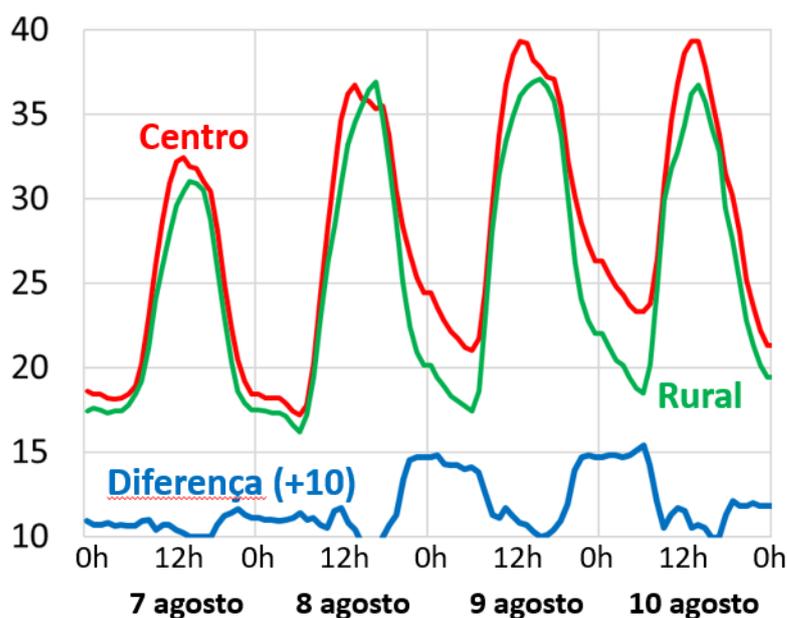
A partir de 2003, foram implementados vários protocolos para observações climatológicas em Rennes. Um desses métodos foi o uso de transectos móveis (medições itinerantes utilizando veículos equipados com sensores) que permitem uma localização inicial dos setores mais quentes da cidade. No entanto, este método de monitoramento de baixo custo levanta a questão da continuidade da informação e da necessidade de instalação de equipamentos a longo prazo.

A procura de locais no centro da cidade revela-se complexa, mas as primeiras instalações temporárias foram feitas a partir do início do verão de 2003. Assim, durante a onda de calor de agosto de 2003 (responsável por quase 15.000 mortes na França e 70.000 na Europa, segundo Besancenot, 2005), os registros mostraram claramente como a ICU ajudou a reforçar a tragédia.

Com efeito, mais do que as temperaturas máximas diurnas (com pouca diferença entre a cidade e o campo), a temperatura noturna foi decisiva (Figura 1). Por duas noites seguidas a ICU atingiu uma diferença de 5 °C durante várias horas; enquanto a temperatura caiu abaixo de 18 °C na zona rural, no centro da cidade, durante à noite de 9 a 10 de agosto de 2003, ela

permaneceu bem acima dos limites de recuperação fisiológica, chegando a ultrapassar os 23 °C. Este fenômeno contribuiu para explicar (mesmo que não seja o único) que o excesso de mortalidade durante esta onda de calor foi sobretudo um fenômeno urbano. Em Rennes, bem como em outras cidades da Europa, este evento ajudou a sensibilizar os decisores locais para a questão do clima urbano.

**Figura 1** - ICU e onda de calor de 2003 em Rennes: temperaturas horárias (em graus Celsius) de 7 a 11 de agosto de 2003.



Fonte: adaptado de Dubreuil *et al.*, 2022.

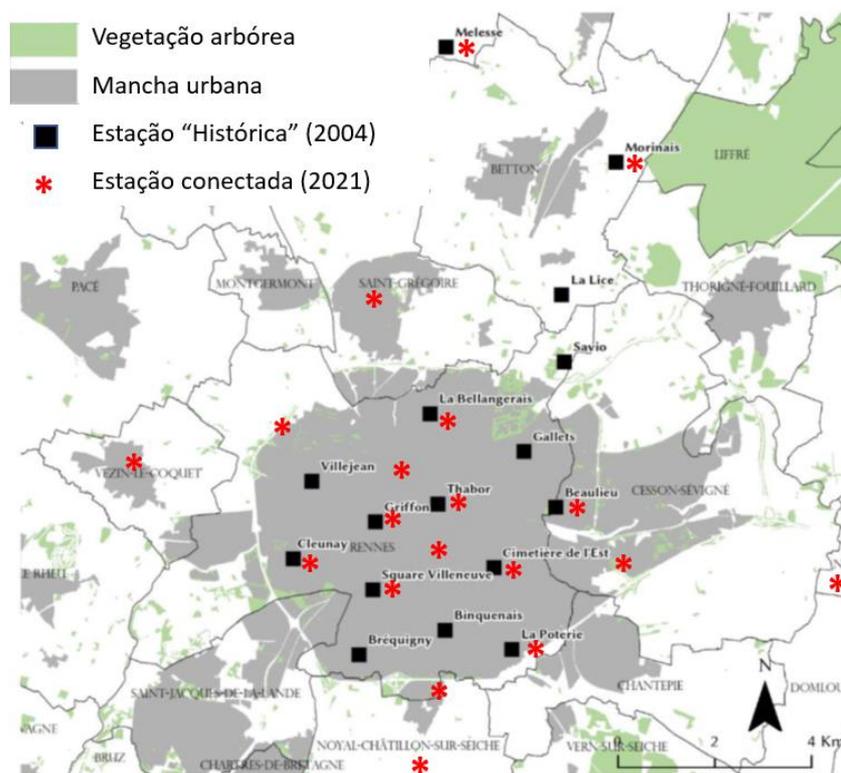
### PROCURANDO FINANCIAMENTO...

A partir de 2003, portanto, iniciou-se a busca por financiamento para a implementação do projeto. O contexto científico em Rennes é favorável em função da existência do *Centre Armoricaïn de Recherches en Environnement* (CAREN) que apoia pedidos de financiamento da Metr pole em 2003 e depois em 2007. A escolha da primeira gera o de equipamentos foi condicionada pela experi ncia adquirida ao longo de mais de dez anos no laborat rio COSTEL na utiliza o das esta es meteorol gicas da DAVIS Instruments. A esta o Weather Monitor 2 (WM2) j  tinha sido alvo de uma men o especial em 1994 pela sua excelente rela o qualidade/pre o na revista francesa “*La M t orologie*”. O financiamento obtido pela *Rennes M tr pole*<sup>14</sup> em 2003 permitiu adquirir 12 esta es; 4 esta es do COSTEL e do CAREN

<sup>14</sup> “Rennes M tr pole”   o nome oficial da regi o metropolitana de Rennes.

chegaram a completar o sistema, ou seja, um total de 16 estações para o programa ECORURB implementado entre julho de 2003 e 2007. A Figura 2 mostra o estado da rede em 2010.

**Figura 2** - Rede de monitoramento da ICU em Rennes em 2010 (estações Davis WM2) e em 2021 (estações conectadas Davis VP2).



Fonte: adaptado de Foissard, 2015.

Posteriormente, o CAREN (que se tornou Observatório das Ciências do Universo de Rennes em 2011) ajudou o laboratório LETG a conseguir financiamentos para o laboratório LETG em 2008, e depois, em 2017, no âmbito dos contratos do plano Estado-Região, permitiu a extensão da rede de medição. As estações WM2 foram, assim, gradualmente substituídas por modelos mais recentes (Vantage-Pro 2), que permitiram sobretudo garantir a aquisição de dados com maior autonomia de memória e uma melhor alimentação em energia que limitava a perda de dados. Finalmente, a partir de 2019, uma parceria entre a LETG e a empresa Meteo Concept permitiu ligar 20 estações da rede ao portal [www.meteodata.fr](http://www.meteodata.fr). As estações estão ligadas à internet através de um módulo tipo Raspberry-Pi, que oferece maior segurança na aquisição de dados e permite o monitoramento em tempo real das medições.

Entre os elementos estruturantes do projeto de acompanhamento da ICU, o financiamento pela *Rennes Métropole* de uma tese (Foissard, 2015) e, depois, de dois pós-doutorados entre 2009 e 2016 também contribuiu largamente para a continuidade das

observações, bem como para o estabelecimento de parceria duradoura com a comunidade. Os resultados obtidos têm sido, portanto, objeto de publicações na literatura internacional (Dubreuil *et al.*, 2008; Quenol *et al.*, 2010; Amorim e Dubreuil, 2017; Foissard *et al.*, 2019). Esta estreita parceria também resultou numa participação ativa no “Plano Clima”<sup>15</sup>.

### IMPLEMENTAÇÃO DE PLANOS CLIMA

As preocupações ambientais e climáticas em Rennes não são novas. Depois de inaugurar a sua primeira linha de metrô em 2002, Rennes tornou-se a primeira cidade da França a criar, em 2004, um plano energia-clima: foram 39 fichas temáticas de implementação, nomeadamente a criação de um plano de viagens para os funcionários do município (mais de 1.500 agentes envolvidos), a organização de exposições, conferências e o lançamento do *Pédibus*. Paralelamente, a implementação do projeto ECORURB permitiu a vários membros do laboratório COSTEL participarem em ações de divulgação sobre a temática das alterações climáticas e das ilhas de calor urbanas (festivais e semanas de ciência em 2006, 2007 e 2009).

O segundo plano clima (que se tornou, na sequência das Leis de Grenelles, o primeiro Plano Clima e Energia Territorial) foi adaptado em 2010, mas fóruns e consultas de cidadãos foram lançados em 2009. Um fórum pós-carbono reuniu cerca de uma centena de pessoas no centro de Rennes - público em geral e profissionais - em dezembro de 2009, um fórum durante o qual os participantes formularam livremente as suas ideias num *Livro Branco*, apresentado por estudantes da Universidade de Rennes-II no verão de 2010.

A ambição deste novo “Plano Clima” é fazer de Rennes uma cidade com baixo consumo de energia e elevada qualidade de vida para todos. Para conseguir isso, 34 dos 37 municípios da região metropolitana de Rennes, incluindo Rennes, assinaram a "convenção das cidades", um contrato partilhado por 120 cidades na França, que se comprometeram a reduzir o seu consumo de energia e as suas emissões de gases com efeito de estufa em 20% até 2020. O outro ponto chave foram os edifícios (que representam 41% da produção anual de CO<sub>2</sub> em Rennes) no qual o município planeja investir para melhorar os seus desempenhos energéticos.

É no âmbito deste “Plano Clima” que *Rennes Métropole* mobilizou e apoiou os seus municípios em torno do desenvolvimento de "planos de ação a favor da energia sustentável" e confirmou o seu compromisso com a convenção dos prefeitos, uma iniciativa da comissão

---

<sup>15</sup> “Plano Clima” (nome completo: PCAET) é um documento jurídico de planificação territorial.

européia que visa promover a aplicação local dos objetivos energéticos e climáticos europeus nos territórios.

O Plano Ar-Energia Clima Territorial (PCAET) tornou-se uma ferramenta de planejamento territorial que visava mitigar as alterações climáticas, desenvolver energias renováveis e controlar o consumo de energia. Em comparação com os planos climáticos anteriores, também foi necessário abordar o aspecto específico da qualidade do ar. O plano clima se tornou obrigatório para todos os intermunicípios com mais de 50 mil habitantes a partir de 2017, e, desde 2019, para os intermunicípios com mais de 20 mil habitantes.

Finalmente, em 2019 foi assinado o terceiro plano clima (PCAET) de *Rennes Métropole*. Para a região metropolitana de Rennes, o desenvolvimento do PCAET ocorreu simultaneamente com o desenvolvimento do Plano de Transportes Urbanos (aprovado em janeiro de 2019) e com o Plano Urbano Intermunicipal Local, de dezembro de 2018.

O plano de ação do novo PCAET estava estruturado em torno de cinco orientações principais e dez ambições que correspondiam aos objetivos propostos para catalisar e estruturar o compromisso dos atores do território. Os temas destinados à implementação da trajetória estratégica estavam identificados na forma de 28 projetos operacionais. Já não se tratava apenas de uma questão de redução das emissões de CO<sub>2</sub>, mas também de adaptação às alterações climáticas.

O trabalho do LETG foi amplamente utilizado para o desenvolvimento deste PCAET. Este trabalho também foi divulgado em 2019 durante o 7º WORKSHOP DO IAUR (Instituto de Planejamento e Urbanismo de Rennes) sobre "Mudanças climáticas: vulnerabilidades e oportunidades na área metropolitana de Rennes", mas também publicado pela AUDIAR (Agência de Planejamento Urbano de Rennes - Poquet *et al.*, 2019), e em 2020 na edição 125 do Jornal mensal de Rennes "Aquecimento global: o povo de Rennes está pronto?"

Após os estudos fundadores realizados em Paris (Dettwiller, 1970; Escourrou, 1991; Cantat, 2004), Marseille (Mestayer *et al.*, 2005), e Toulouse (Pigeon *et al.*, 2007), esta generalização dos PCAETs será um contexto favorável para a realização de estudos sobre ICU na maioria das cidades francesas. Várias obras foram realizadas em Strasbourg (Kastendeuch *et al.*, 2010), Nice (Carrega, 2013), Dijon (Richard *et al.*, 2018) e Lyon (Renard *et al.*, 2019). Em 2020, durante o Festival Internacional de Geografia de Saint Dié des Vosges, foi realizada uma sessão especial sobre "O clima das cidades não é o clima dos campos", enfatizando a

questão dos métodos de espacialização das ICUs, a partir de métodos participativos ou redes de sensores conectados.

## **IMPLANTAÇÃO DA REDE DE SENSORES CONECTADOS**

### **ESCOLHENDO A SOLUÇÃO LORAWAN**

As investigações realizadas em Rennes sobre ilhas de calor urbanas, ao combinar medições de campo, imagens de satélite e modelagem, permitiram quantificar a intensidade e frequência do fenômeno. No entanto, estes diferentes métodos revelam-se dispendiosos e difíceis de manter, limitando assim a densificação dos pontos de medição. A partir de 2019, foram tentadas, pela primeira vez, soluções baseadas em sensores leves e não conectados. Os dispositivos eram simples de implementar. No entanto, tinham a desvantagem de exigir uma visita regular para baixar os dados coletados com um notebook.

Em 2020, foi dado um novo passo graças à parceria estabelecida entre LETG, *Rennes Métropole*, e as empresas Wi6Labs e Alkante com a implementação de uma rede de sensores que coletam dados em tempo real baseada na tecnologia LoRaWAN. Este projeto foi cofinanciado pela Zona Atelier Armorique do CNRS, pela cidade de Rennes e Rennes Métropole. Note-se que uma das originalidades do projeto é contar com a rede LoRaWAN soberana de Rennes Métropole (e não de um operador comercial) para a qual a Wi6Labs e a Alkante forneceram os dispositivos técnicos para a implementação.

Esta abordagem tem muitas vantagens e permite, em particular:

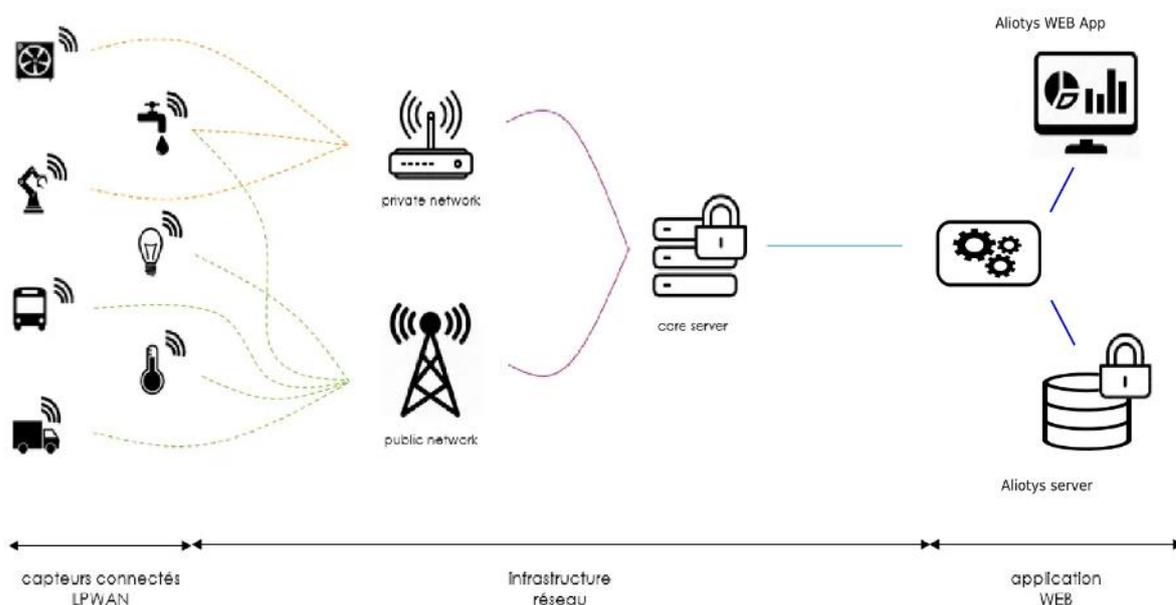
- Multiplicar pontos de observação através da aquisição de sensores de baixo custo;
- Obter um mapeamento mais preciso da ICU;
- Acompanhar em tempo real a evolução do fenômeno e programar alertas;
- Evitar ir regularmente no local para recuperar os dados, uma forte restrição ligada à deficiência dos recursos humanos do laboratório;
- Superar as restrições de instalação devido à cobertura de rádio LoRa em Rennes;
- Detectar imediatamente problemas de medição e substituição de sensores defeituosos sem perder muitos dados.

A partir do início de 2020, um estudo de viabilidade permitiu a implementação de diversos sensores em fase de testes. Foram analisadas as diferentes opções de abrigos e sensores bem como a sua capacidade de comunicação em tempo real. A partir do outono de 2020, começou a instalação dos novos sensores conectados que substituíram gradativamente os modelos antigos.

A solução técnica adotada está totalmente operacional desde 31 de março de 2021 (Figura 3) e consiste em:

- 95 sensores comunicantes LoRaWAN medindo temperatura e umidade a cada 15 minutos;
- Instalação em abrigo meteorológico padrão anti-radiação colocado sobre poste de iluminação com 3 metros de altura;
- Transmissão de dados na rede core LoRaWAN da empresa Wi6Labs fornecida à Rennes Métropole;
- Restituição através de uma plataforma IoT denominada ALIOTYS (Smart City) e desenvolvida pela empresa Alkante.

**Figura 3** - Arquitetura da rede de sensores conectados para monitoramento da ICU em Rennes.



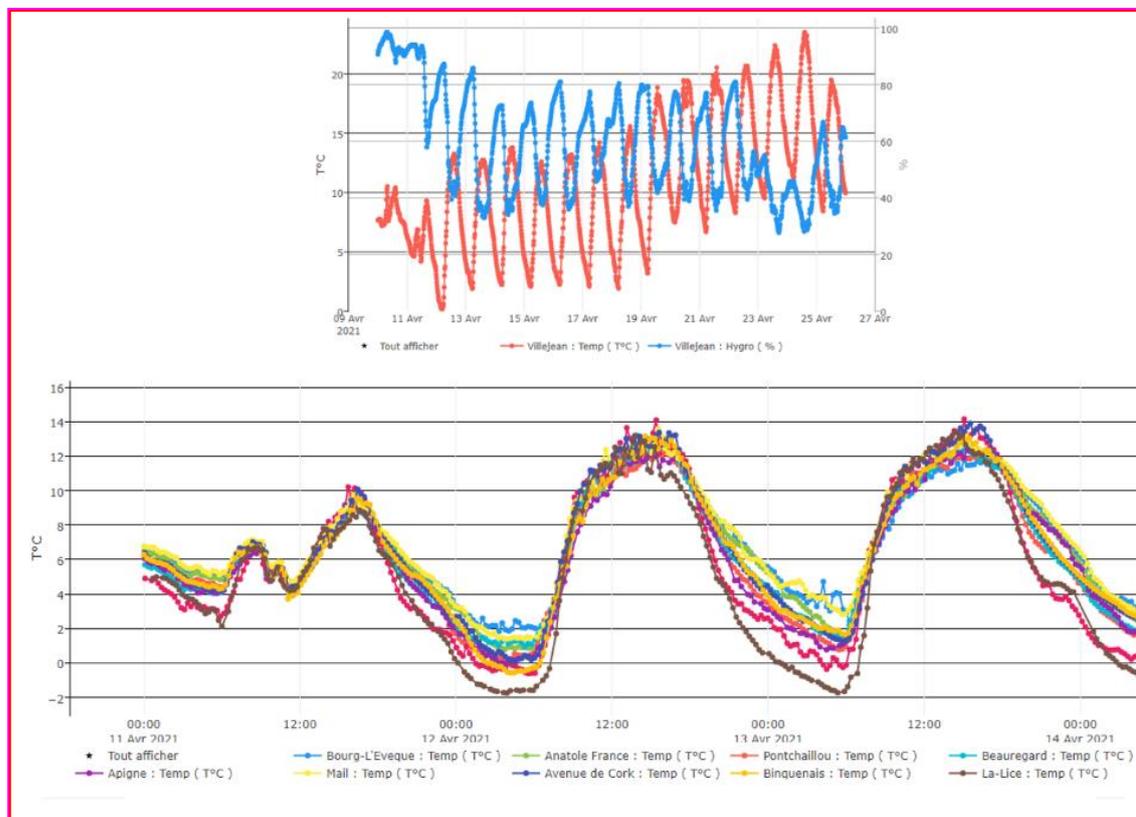
Fonte: adaptado de Dubreuil *et al.*, 2022.

A Figura 4 detalha as opções de interface web disponíveis para o operador. Há a possibilidade de acompanhar a medição de temperatura e umidade de diversos sensores ou de cada um separadamente (Figura 4a). Também existe a possibilidade de sobrepor as leituras de vários sensores em paralelo, variando cada vez a janela temporal de análise ao longo de um dia ou de vários dias.

A Figura 4b mostra, assim, uma sequência típica onde se seguem dias em que a ICU não é muito acentuada (pouquíssimas diferenças de temperatura em 11/04/2021) e aqueles em que a diferença de temperatura aumenta durante a noite entre os sensores, materializando o fenômeno da ICU. Por fim, uma última interface de visualização, em desenvolvimento,

permitirá a restituição em tempo real (ou quase) do monitoramento cartográfico da ICU na escala da Metrópole.

**Figura 4** - Gráficos extraídos da interface Aliotys de monitoramento da ICU em Rennes.



Acima, série de temperatura e umidade do sensor localizado na Universidade de Villejean de 10 a 25 de abril de 2021. Abaixo, medições de temperatura de 11 a 14 de abril para uma seleção de sensores localizados do centro da cidade até a periferia: a ICU chega 4 graus de intensidade na noite de 11 para 12 de abril e depois 6 graus na noite de 12 para 13 de abril de 2021.

Fonte: adaptado de Dubreuil *et al.*, 2022.

## A ESCOLHA DE ABRIGOS E SENSORES

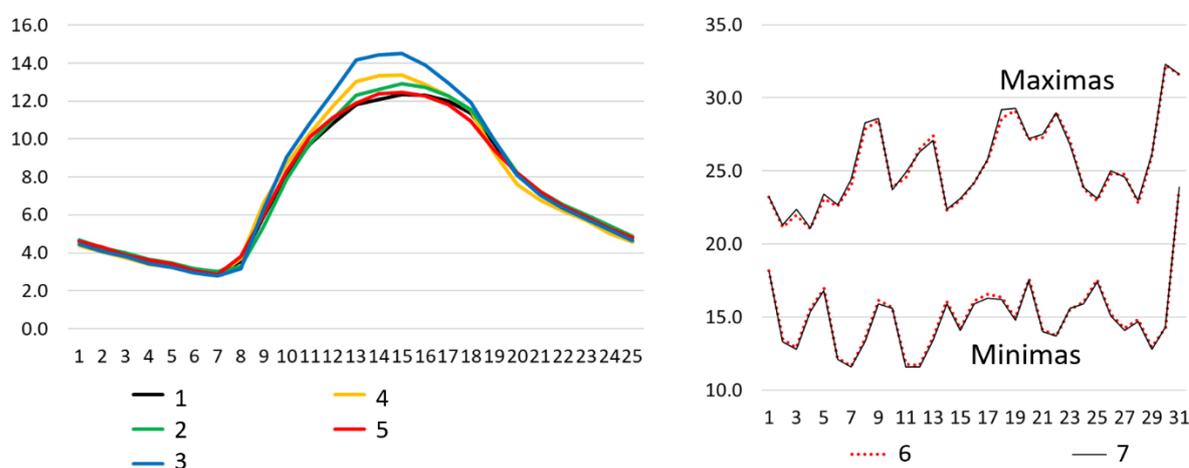
A escolha dos equipamentos utilizados para a nova rede de monitoramento conectada da ICU tem sido objeto de estudos aprofundados, tanto no que diz respeito ao tipo de sensor quanto ao abrigo antirradiação utilizado.

O sensor deveria atender a vários requisitos: boa qualidade de medição de temperatura e umidade com capacidade de resposta compatível com um intervalo de medição a cada 15 minutos; possibilidade de transmissão na rede LoRaWan gerenciada pela Rennes Metrópole; grande autonomia (pelo menos um ano); baixo custo; e produto rapidamente disponível em grandes quantidades. A experiência adquirida pela empresa Wi6Labs, neste ramo, tornou possível a escolha do sensor RisingHF.

Paralelamente, foi realizado um estudo detalhado sobre o tipo de abrigo antirradiação que abrigaria o sensor. Deve-se lembrar que a medição da temperatura do ar deve ser sempre realizada longe da radiação direta (medição denominada “à sombra” e sob abrigo). O material, o tamanho, o volume, a ventilação, a cor são parâmetros que influenciam diretamente a natureza da medição de temperatura e também de umidade. Outra condicionante deste estudo foi que as medições a efetuar por esta nova tecnologia deveriam ser compatíveis com as efetuadas desde 2003 com as estações automáticas Davis.

A Figura 5 mostra alguns exemplos de medições de teste realizadas comparando-se diferentes sondas e tipos de abrigos. Podemos ver que, para uma determinada faixa de preço, os sensores industriais têm desempenho bastante semelhante em termos de precisão de medição. Por outro lado, a natureza do abrigo altera completamente a medição, e por isso é aconselhável ser muito rigoroso na escolha: certos modelos absorvem uma grande quantidade de radiação e, por isso, restauram uma temperatura do ar sobrestimada, especialmente no meio do dia. É também óbvio que, para minimizar estas diferenças entre sensores-abrigo, a rede deve estar equipada com o mesmo tipo de equipamento e condições de medição comparáveis.

**Figura 5** - Curvas de teste de abrigos e sensores produzidos para otimizar a escolha da rede.



À esquerda, temperaturas médias horárias em abril de 2020: 1= medições de referência, 2= sensor de sonda TinyTag no abrigo Davis (superestimação), 3= sonda TinyTag em abrigo de baixo custo (superestimação muito forte), 4= Hobo sonda no abrigo RS3 (forte superestimação), 5= Sensor RisingHF no abrigo Davis (melhor ajuste à curva de referência).

À direita: Temperaturas mínimas e máximas diárias medidas em julho de 2020 pela estação de referência (7) e pelo sensor RisingHF no abrigo Davis (6): a diferença média ronda os 0,1 °C.

Fonte: adaptado de Dubreuil *et al.*, 2022.

Uma última escolha importante de protocolo se refere às condições de instalação e em particular à altura da medição. Tradicionalmente, as medições de temperatura devem ser feitas

a 1,5 ou 2 metros de altura e em ambiente aberto. Na cidade, a presença de edifícios dificulta o cumprimento integral desta recomendação (Oke *et al.*, 2017).

As escolhas feitas em Rennes tiveram, assim, o cuidado de localizar um sensor a mais de dois metros de uma parede (edifício) e num local com exposição desobstruída a sul durante as horas mais quentes do dia (das 11h às 15h, aproximadamente) para limitar o efeito de sombra e poder estimar corretamente as temperaturas máximas.

Um último cuidado importante foi tomado: todos os sensores foram instalados a uma altura de cerca de três metros, próxima o suficiente da altura padrão, mas também numa altura suficiente para limitar o roubo ou dano ao equipamento (desde 2003, observou-se que duas estações e dois sensores foram vandalizados, números que são bastante baixos).

A maior parte dos sensores foram instalados em locais geridos pela Metrópole (escolas, parques, jardins, áreas técnicas) ou em postes de iluminação - neste caso, a colaboração e informação regular com o serviço de iluminação da Metrópole permitiu selecionar a iluminação pública adequada (Figura 6).

**Figura 6** - Algumas fotos mostrando as instalações dos sensores conectados em Rennes.



Obs.: À esquerda, instalação em suporte de estação automática existente; à direita instalação em poste de iluminação pública.

Fotos: Dubreuil, 2021.

## ESCOLHA DOS LOCAIS DE MEDIÇÃO E LCZ (LOCAL CLIMATE ZONE)

A última etapa do protocolo de implementação da rede foi a escolha dos pontos de medição. Várias etapas foram necessárias para concluir esta instalação:

- Em primeiro lugar, a experiência adquirida desde 2003 nos transectos móveis realizados em diferentes estações e situações meteorológicas que permitiram identificar os setores mais quentes/mais frios da cidade;
- A primeira modelagem espacial da ICU realizada durante a tese de Foissard (2015) permitiu mostrar a importância dos volumes dos edifícios, da vegetação e das superfícies impermeáveis como fatores contribuindo para a intensidade da ICU;
- A utilização de uma metodologia de referência internacional para verificar se os diferentes tipos de bairros estão bem cobertos pela rede.

Neste último ponto, foi adotada a metodologia da Zona Climática Local (LCZ) proposta por Oke e Stewart (2012). Esta classificação propõe descrever todas as formas urbanas das cidades do mundo em 10 tipos principais, aos quais se somam 7 tipos principais de descrição do ambiente urbano. As classes distinguem-se entre si de acordo com o volume e densidade do edifício, a vegetação e as superfícies impermeáveis (Quadro 1).

**Quadro 1** - Informações simplificadas dos 17 tipos das *Local Climate Zone*.<sup>16</sup>

Classificação de edifícios			
Classe	Nome	Definição	Exemplos
LCZ 1	Edifícios compactos e altos	Mistura de edifícios altos (>25 m), poucas ou nenhuma árvores, alta cobertura impermeável (40 a 60% da superfície)	Bairro “la défense” em Paris; Manhattan (New York)
LCZ 2	Edifícios compactos de tamanho médio	Mistura de edifícios de altura média (10 a 25 m), poucas ou nenhuma árvore, cobertura impermeável elevada (30 a 50%)	Habitação coletiva geralmente no centro de cidades médias como Rennes com edifícios históricos acima de três andares
LCZ 3	Edifícios baixos e compactos	Mistura de edifícios baixos (3 a 10 m), poucas ou nenhuma árvore, alta cobertura impermeável (20 a 50%)	Habitação individual geralmente na periferia dos centros urbanos
LCZ 4	Edifícios espaçados e altos	Mistura de edifícios altos (> 25 m), cobertura permeável significativa (plantas baixas, árvores dispersas de 30 a 40%)	Habitação coletiva em grandes complexos (distrito de Villejean) ou novos coletivos (Baud-Chardonnet)
LCZ 5	Edifícios de tamanho médio espaçados	Mistura de edifícios de altura média (10 – 25 m), cobertura permeável significativa (plantas baixas, árvores dispersas de 20 a 40%)	Habitação coletiva (a oeste do distrito de Villejean, e edifícios em Bréquigny ou Beauregard)
LCZ 6	Edifícios baixos espaçados	Edifícios mistos ou casas baixas (3 a 10 m), cobertura permeável significativa (plantas baixas, árvores dispersas entre 30 e 60%)	Habitação individual dentro da continuidade urbana, muitas vezes do modo concêntrico em torno do centro

Continua

<sup>16</sup> As Zonas Climáticas Locais (LCZ) descrevem a estrutura e a natureza da superfície urbana de uma forma consistente e comparável entre as cidades. O método pretende ser universal e aplicável em estudos sobre ondas de calor urbanas, urbanização sustentável e balanço energético urbano (Stewart e Oke, 2012).

Continuação			
LCZ 7	Edifícios baixos e leves	Mistura densa de edifícios baixos (2 a 4 m). Poucas ou nenhuma árvore. Cobertura de solo compactada	Muito pouco presente, frequentemente: camping, bangalô ou construção temporária
LCZ 8	Edifícios baixos ampliados	Paisagem aberta de grandes edifícios baixos (3 a 10m). Poucas ou nenhuma árvore. Cobertura do solo pavimentada	Indústria leve e setores terciários como: PSA em Saint-Jacques ou Z.I Sud-Est em Cesson-Sévigné
LCZ 9	Edifícios esparsos	Paisagem esparsa de edifícios de pequena ou média dimensão, abundância de solo permeável (60 a 80%)	Habitações individuais muito espaçadas, geralmente em zonas rurais ou no limite da continuidade urbana
LCZ 10	Indústria pesada	Estruturas industriais de médio a baixo porte (5 a 15 m), poucas ou nenhuma árvore, cobertura impermeável do solo	Não presente
Classificação da cobertura do solo			
LCZ A	Árvores densas	Paisagens densamente arborizadas, cobertura vegetal permeável (<90% de plantas baixas)	Floresta, bosque, também pode corresponder a um parque urbano (Gayeulles em Rennes)
LCZ B	Árvores esparsas	Paisagens pouco arborizadas, cobertura vegetal permeável (>90% de plantas baixas)	Floresta, bosque, também pode corresponder a um parque urbano (por exemplo, Thabor em Rennes)
LCZ C	Landes, broussaille, taillis	Paisagem aberta de charnecas, matos ou pequenos bosques, cobertura de solo permeável (>90% de solo nu)	Paisagem natural ou agrícola, como sebes ou talhadias presentes na bocage
LCZ D	Plantas baixas	Paisagem relvada ou plantas baixas, poucas ou nenhuma árvores	Agricultura de cereais, pastagens
LCZ E	Solos rochosos ou pavimentados	Paisagem rochosa ou pavimentada, poucas ou nenhuma árvores	Rocha natural, afloramentos, mas também rede de transporte urbano (ferrovia)
LCZ F	Solo nu, terroso ou arenoso	Paisagem com solo nu ou areia, poucas ou nenhuma árvore	Natural ou agrícola
LCZ G	Água	Grandes e pequenas massas de água	Mar, rios, reservatórios ou lagoas

(Fonte Stewart e Oke, 2012).

Concretamente, a ferramenta GeoClimate (<https://github.com/orbisgis/geoclimate/wiki>) foi utilizada para mapear estas LCZs em Rennes. Esta metodologia foi desenvolvida pela URCLIM (ERA4CS e financiada pela JPI Climate e pela União Europeia) e pela PAENDORA (ADEME). O GeoClimate pretende fornecer ferramentas que permitam estimar um conjunto de parâmetros representativos do clima local como indicadores morfológicos (percentagem de impermeabilização, vegetação alta, baixa etc.), o fator de vista do céu, ou ainda as zonas climáticas locais.

Esta caixa de ferramentas é baseada em uma abordagem vetorial, ela usa dados IGN BDTopo 2.2, ou dados abertos OpenStreetMap (OSM) para criar os diferentes parâmetros definidos acima. Também é possível integrar seu próprio conjunto de dados vetoriais para criar esses parâmetros climáticos ou de uso da terra (Bocher *et al.*, 2021).

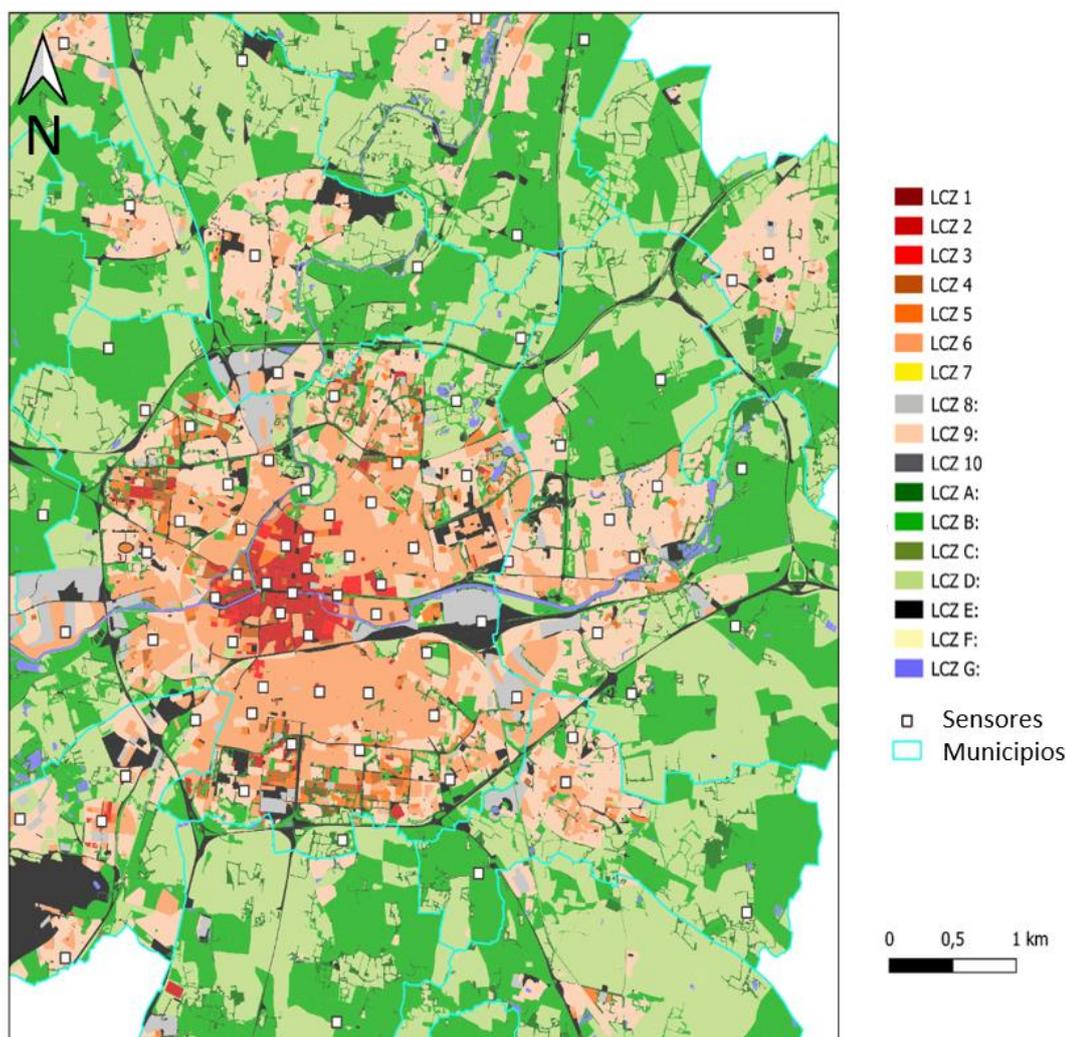
Numa primeira fase, as LCZ foram produzidas com o BDTopo 2.2 e o OSM para definir o método que melhor representasse o território. Assim, a abordagem fornecida pelo BDTopo 2.2 mostrou-se mais confiável e precisa e, portanto, foi mantida para determinar as localizações apropriadas dos sensores conectados mapeados na Figura 7. Como qualquer método, este, porém, possui limitações que o operador pode corrigir de acordo com as configurações da ferramenta (Hidalgo *et al.*, 2019). Na verdade, a cartografia depende muito do tamanho das ilhas e dos dados básicos sobre os quais os indicadores são calculados.

A Figura 7 permite-nos compreender a organização da LCZ na região metropolitana de Rennes. Assim, as LCZs 2 e 3 são visíveis nos centros urbanos e particularmente em Rennes onde o centro da cidade apresenta uma organização compacta e pouca vegetação, típica de um centro histórico. Depois, em torno deste centro da cidade, as LCZs representam habitações coletivas de médio porte (4 e 5) ou habitações individuais (LCZs 6 e 9) com uma fração um pouco maior de vegetação e, portanto, uma morfologia mais aberta. Nas áreas urbanas dos centros periféricos das cidades da região metropolitana de Rennes, também estão presentes principalmente as LCZs 6 e 9. Observe-se que certas LCZs, na classificação internacional, estão pouco ou não representadas em Rennes, tais como:

- a LCZ 1 correspondente a arranha-céus;
- a LCZ 7 típica de campings, ou favelas em maior escala;
- a LCZ 10 indicando presença de indústria pesada;
- a LCZ C ou a LCZ F, cuja superfície não seja suficiente para criar uma ilha representativa desta classe.

A distribuição dos sensores corresponde apenas parcialmente à proporção de LCZs na superfície (Tabela 1). Assim, nas LCZs B e D, a grande maioria no território da Metròpole não possui uma proporção equivalente de sensores: são deliberadamente subamostradas porque a rede visa primeiro mostrar o comportamento climático das áreas urbanizadas. Da mesma forma, a área dentro do anel rodoviário está mais densamente equipada (51 sensores). Dentro das classes urbanas, são as LCZs 6, 5 e 9 as mais representativas e mais bem equipadas. Oito sensores também estão localizados na LCZ 2 do centro histórico da cidade de Rennes, uma proporção significativa visando detalhar os gradientes climáticos dentro da cidade. Por último, a rede procurou cobrir adequadamente as principais zonas industriais (seis sensores na LCZ 8), bem como áreas arborizadas, água e solo descoberto, mesmo que não sejam muito significativos em área superficial.

**Figura 7** - Mapa de localização dos sensores conectados em Rennes com base na classificação LCZ (legenda detalhada no Quadro 1).



Fonte: adaptado de Dubreuil *et al.*, 2022.

**Tabela 1** - Distribuição dos sensores na aglomeração de Rennes de acordo com os tipos de LCZ e proporção (em %) das superfícies por eles ocupadas (situação de 2021).

Tipo LCZ	2	3	4	5	6	8	9	A	B	D	E	G
% surf. LCZ	0.5	0.1	0.2	0.4	4.8	1.2	10.0	4.4	33.4	40.4	3.3	1.2
Núm. de sens.	8	1	1	17	22	6	13	2	10	13	1	1

## ALGUNS RESULTADOS DO MONITORAMENTO EM ALTA DENSIDADE DA ICU

### O MECANISMO DA ICU BASEADO EM DIAS REPRESENTATIVOS

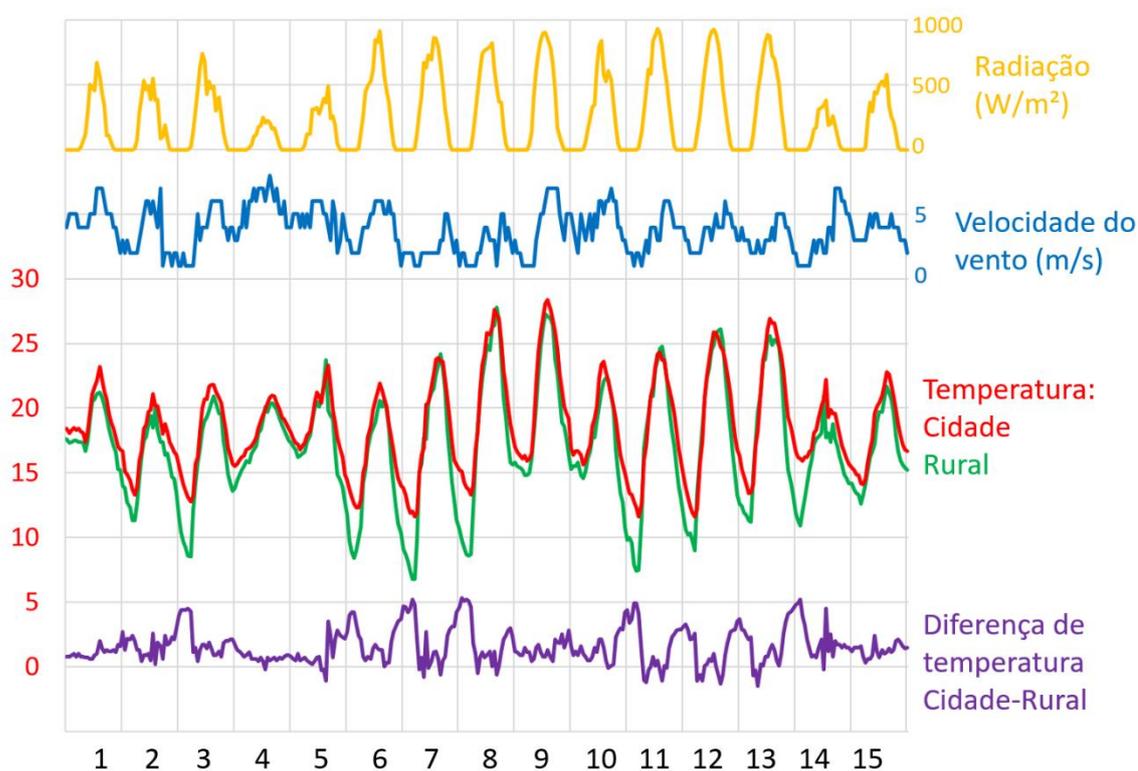
A ICU é classicamente calculada como a diferença entre a temperatura no centro da cidade e a temperatura mais baixa registrada na periferia rural “fria”. Na verdade, o fenômeno ICU resulta de uma modificação do balanço energético à escala local: o sobreaquecimento

urbano está ligado sobretudo a superfícies e volumes construídos e artificializados que libertam à noite o calor armazenado durante o dia (Arnfield, 2003; Masson, 2006).

Além disso, a menor presença de vegetação na cidade significa que a energia disponível é efetivamente utilizada para aquecer as camadas mais baixas da atmosfera (transferência de calor sensível), enquanto nas áreas rurais a energia disponível é mais utilizada para a transpiração das plantas (calor latente). Este fenômeno também explica porque os parques e jardins urbanos são um pouco mais frescos do que os bairros urbanizados localizados ao seu redor e parecem pequenas ilhas de frescor (Yang *et al.*, 2017).

Ao contrário da crença popular, a produção de energia pelos veículos, pelo aquecimento dos prédios e pelas indústrias proporciona quantidade adicional de calor secundária na cidade.

**Figura 8** - Temperaturas, intensidade da ICU e condições climáticas horárias em Rennes de 1º a 15 de julho de 2020.



Fonte: adaptado de Dubreuil *et al.*, 2022.

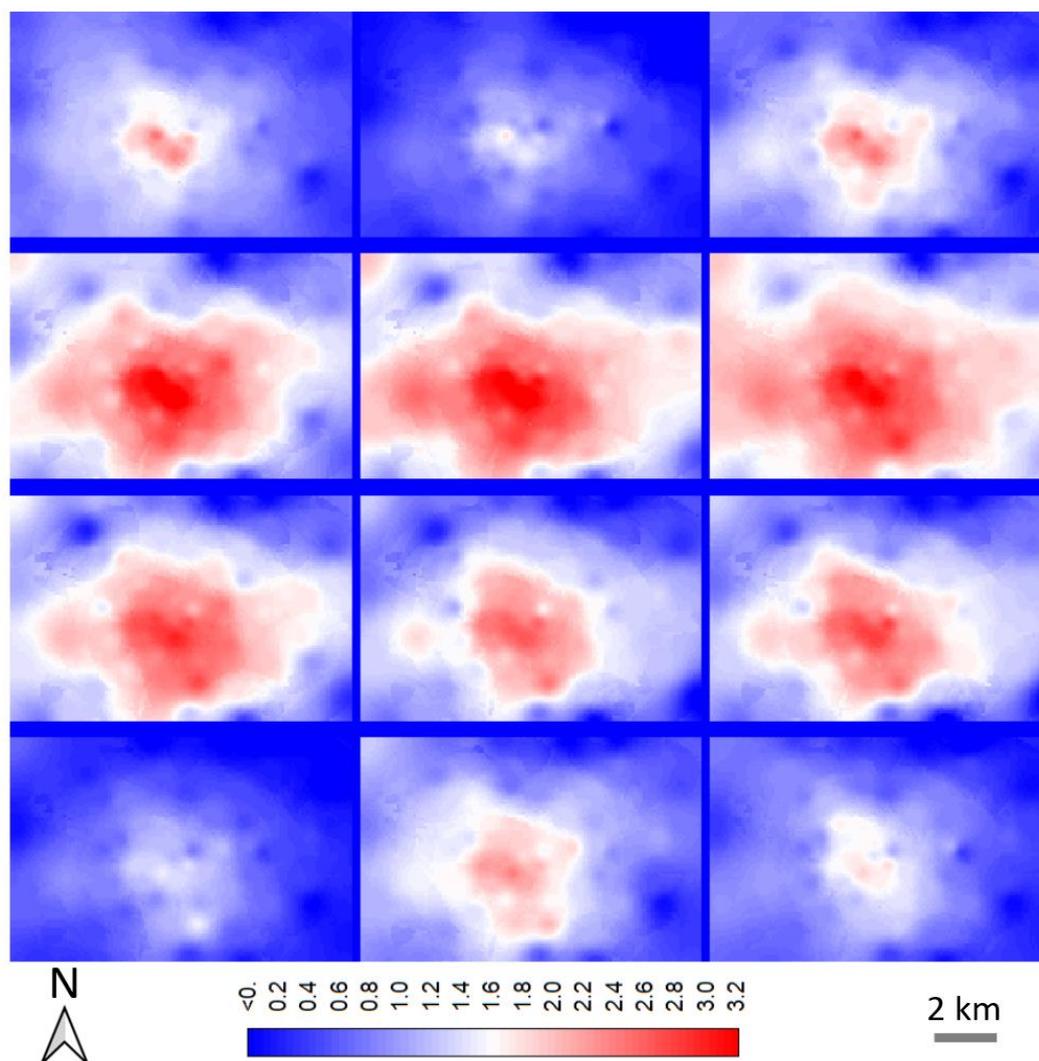
Estes mecanismos básicos são, no entanto, insuficientes para caracterizar a presença e, principalmente, a intensidade da ilha de calor urbana. Na verdade, tal como ilustrado na Figura 8, se a ICU é um fenômeno noturno e, portanto, temporário, também depende fortemente das condições meteorológicas (Morris e Simmonds, 2001).

Assim, nos dias 4, 5, 14 e 15 de julho de 2020, a presença de vento sustentado e radiação fraca denunciando forte nebulosidade foram situações desfavoráveis para a ICU que estava quase ausente.

Nos dias 9 e 10 de julho, as condições de radiação melhoraram, mas o vento ainda permanecia forte demais para permitir o desenvolvimento da ICU. Por outro lado, as condições estavam todas reunidas nos dias 7, 8, 11, 12 e 13 de julho, com radiação forte e vento visivelmente mais fraco durante a noite.

Estas condições radiativas permitiram, então, observar uma intensidade de quase 5 graus centígrados durante estes dias. Vemos também que, numa escala diária, não são necessariamente os dias mais quentes que apresentam as situações mais fortes de ICU.

**Figura 9** - Mapas médios mensais de intensidade da ICU em 2020.



Obs.: Diferença (em graus centígrados) com a temperatura mínima média da estação mais fria. Os meses são organizados de janeiro (canto superior esquerdo) a dezembro (canto inferior direito).

Fonte: adaptado de Dubreuil *et al.*, 2022.

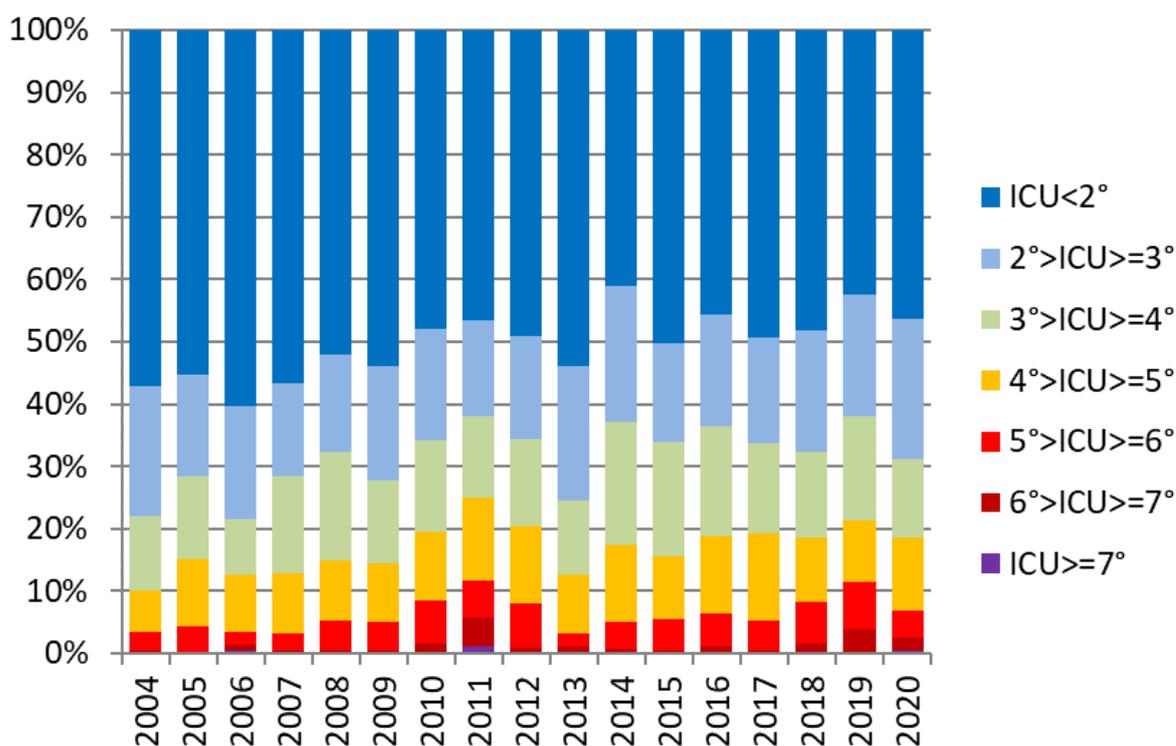
Ao longo do ano, porém, as médias mensais mostram que o período quente é mais propício à instalação das ICU. Os mapas da Figura 9 são construídos a partir dos cinquenta pontos de observação já disponíveis em 2020 e permitem visualizar, para cada mês e para cada ponto de medição, a diferença com a média da menor temperatura mínima observada na rede.

Este tipo de mapa resume bem a intensidade da ICU média interpolando os valores entre os pontos vizinhos mais próximos em uma grade de 100 metros. Vemos que os 6 meses de abril a setembro são aqueles onde a calor urbano se desenvolve mais com uma diferença centro-periferia que se aproxima ou ultrapassa 3 °C; pelo contrário, de outubro a março, a intensidade máxima da ICU só ultrapassa os 2 °C no centro histórico.

### FREQUÊNCIAS DAS ICU EM RENNES EM 17 ANOS!

Conforme explicado anteriormente, a rede conectada permite dar continuidade à observação da ICU desde 2004. Tal como em estudos anteriores (Gaffin *et al.*, 2008; Alcoforado *et al.*, 2014; Dubreuil *et al.*, 2020), é, assim, possível classificar cada ano (aqui 2020) em relação a outros dados da base (Figura 10).

**Figura 10** - Frequências anuais das classes de intensidade de ICU em Rennes de 2004 a 2020: diferenças entre os mínimos observados entre a estação central de referência e a estação rural.



Fonte: adaptado de Dubreuil *et al.*, 2022.

Optamos por classificar os dias aqui pela faixa de intensidade  $\Delta T_n$  igual ou superior a 2 °C (de acordo com a tipologia proposta por Fernandez Garcia, 1996), mantendo a diferença entre o mínimo observado a cada dia na estação de referência rural e o do centro da cidade (mesmo que todas essas diferenças de  $\Delta T_n$  não correspondam sistematicamente à ICU).

Os dias em que este limite é ultrapassado atingem uma frequência de 51% em Rennes (um a cada dois dias), variando entre 65% em setembro e 32% em janeiro.

Os dias em que a intensidade da ICU ultrapassa os 4 °C, representam 17% dos casos (62 dias por ano em média), mas menos de 10% em dezembro e janeiro, em comparação com quase 30% em setembro. Os dias com ICU acima de 6 °C representam 1,4% das observações (5 dias em média por ano). Em 17 anos, um total de 10 dias ultrapassou o limite de 7 °C, sendo o recorde da ICU em 1º de outubro de 2011, com 8 °C.

O ano de 2020 foi o ano mais quente já registado em Rennes, com uma média anual de 13,4 °C, em comparação com as médias de 1991-2020, de 12,3 °C. A mínima média chegou a 8,8 °C, para uma média de 8 °C, o quarto valor mais alto, e a máxima chegou a 17,9 °C (para uma média interanual de 16,8 °C), também um recorde histórico.

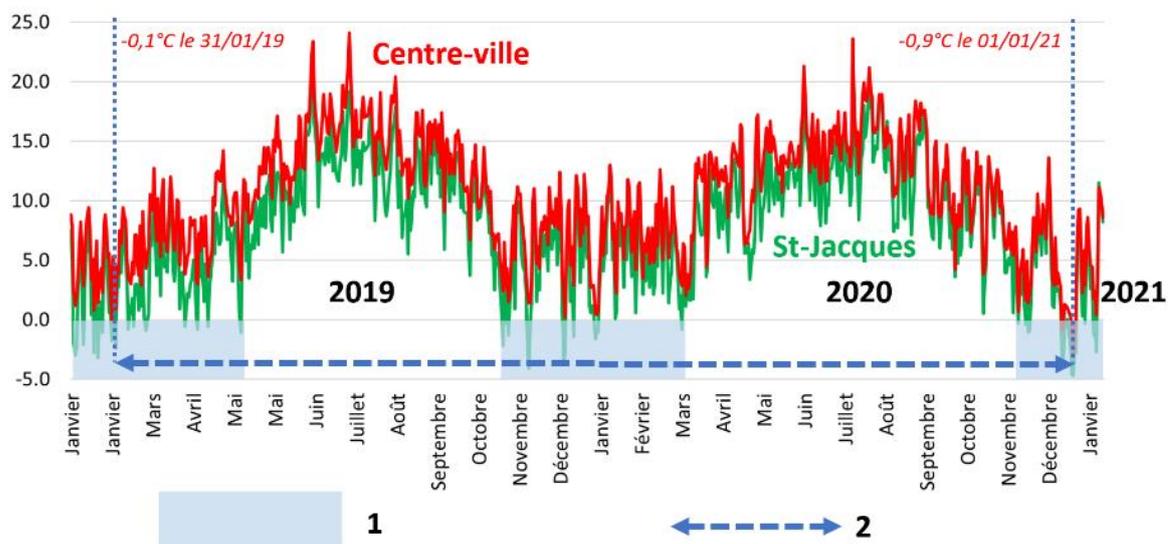
Em termos de ICU, a intensidade média atingiu 2,5 °C em 2020, para uma média de 2,3 °C em 17 anos e o ICU máximo excedeu 7 °C em duas ocasiões. Sem atingir os recordes de 2011 ou 2019, o ano de 2020 posiciona-se, portanto, como um ano com baixa frequência de ICU fracas (46% dos dias com ICU abaixo de 2 °C) e alta frequência de ICU fortes (19% de dias com ICU fortes) maior ou igual a 4 °C.

### **2020: PRIMEIRO ANO SEM GEADAS NO CENTRO DE RENNES!**

Depois de um ano já notável com apenas um dia de geada observado em 2019, o ano de 2020 constituiu um momento histórico em Rennes com, pela primeira vez desde o início das medições, uma ausência total de geada no centro da cidade.

Observando a cronologia das temperaturas mínimas diárias (Figura 11), é ainda possível constatar que não houve geada no centro de Rennes entre 31/01/2019 e 01/01/2021, ou seja, verificou-se quase dois anos consecutivos sem geadas no centro de Rennes! Na estação Saint-Jacques de la Lande (estação de referência da Météo-France onde são realizados registros desde 1945), foram observados 23 dias de geada em 2019, e 9 em 2020.

**Figura 11** - Temperaturas mínimas diárias (em graus) em Rennes de janeiro de 2019 a janeiro de 2021.

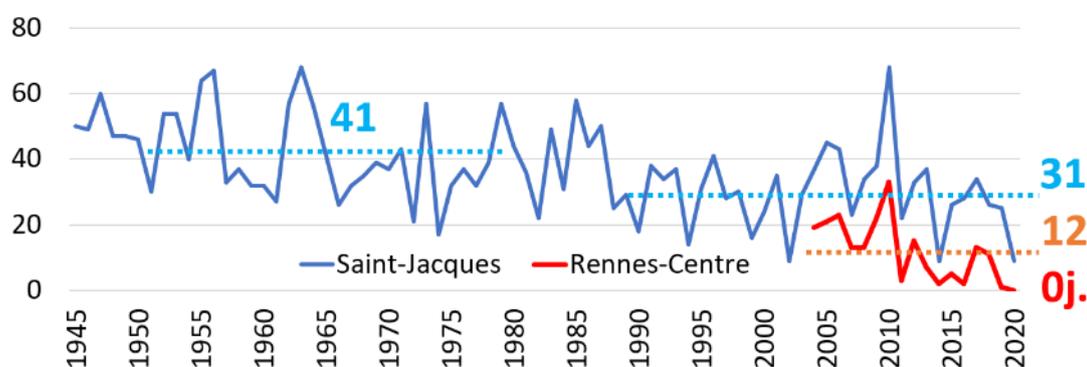


Obs.: 1 = períodos de inverno entre a primeira e a última geada observada em Saint-Jacques (Aeroporto); 2 = período sem geadas observado no centro de Rennes.

Fonte: adaptado de Dubreuil *et al.*, 2022.

A série de dados de Saint-Jacques de la Lande permite-nos observar que em 2020, Rennes vivenciou nove dias de geada, ou seja, tantos como em 2002 e 2014 (Figura 12). Os dados da figura mostram uma tendência histórica de redução na frequência das geadas em Rennes-Saint-Jacques: 41 dias em média para o período 1951-1980 em comparação com 31 dias para o período 1991-2020.

**Figura 12** - Evolução do número de dias de geada observados em Rennes de 1945 a 2020.



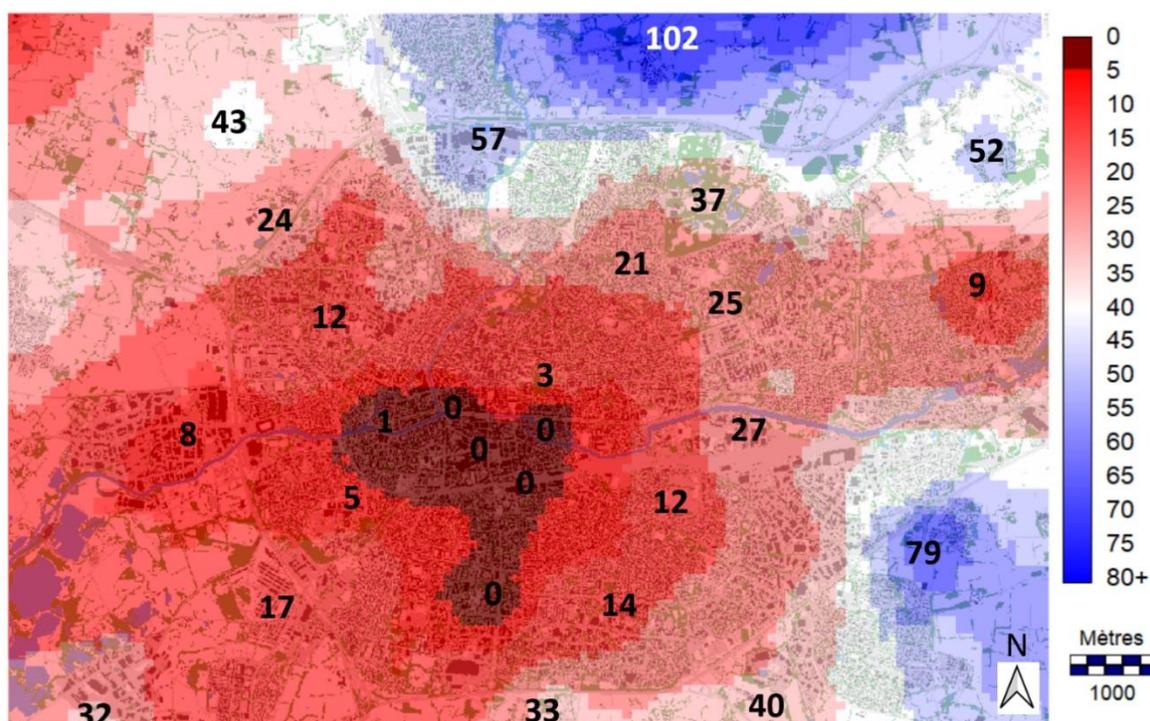
Fonte: adaptado de Dubreuil *et al.*, 2022.

O número médio de dias de geada observado no centro de Rennes foi significativamente menor do que em Saint-Jacques: 12 dias no período de 2004 a 2020. Assim, congela quase duas a três vezes a menos no centro de Rennes em comparação com a zona rural!

Mas, em alguns anos, o número de dias de geada no centro da cidade foi quase inexistente: três dias em 2011, dois dias em 2014 e 2016, e apenas um dia de geada em 2019. Em 2020, no centro de Rennes, a temperatura mais baixa observada não foi inferior a 0,4 °C. A tendência histórica de redução do número de dias de geada em Saint-Jacques é, portanto, reforçada no centro de Rennes pelo fenômeno da ilha de calor (Dubreuil *et al.*, 2021).

A espacialização das geadas em Rennes, em 2020, através da densa rede de sensores permitiu evidenciar melhor os contrastes intraurbanos e a influência das condições climáticas. A Figura 13 mostra a duração do fenômeno de geada expressa em número de horas durante as quais a temperatura permaneceu abaixo ou igual a zero. Encontramos uma forte anomalia quente do centro da cidade, sem geadas em 2020, mas também grande parte da área urbanizada dentro do anel rodoviário que sofreu menos de vinte horas de geada em 2020.

**Figura 13** - Número de horas de geada em Rennes em 2020.



Fonte: adaptado de Dubreuil *et al.*, 2022.

O gradiente em direção ao sudeste e especialmente ao norte é espetacular: chegamos a mais de 50 horas de temperaturas negativas, mesmo dentro do anel viário, em áreas pouco

urbanizadas. A menos de um quilômetro ao norte do anel rodoviário, as áreas baixas do vale do Ille sofreram quase cem horas de geada.

A situação é muito diferente a sul e a oeste, onde o número de horas de geada permaneceu muito baixo, para além das zonas urbanizadas, incluindo nas zonas ao redor do aeroporto e no vale de Vilaine. Aqui, são as condições meteorológicas que explicam esta assimetria. De fato, em Rennes, durante os dias frios, geralmente anticiclônicos, o fluxo predominante vem principalmente do norte ou do nordeste, muito raramente do sul, e nunca do oeste. Esta situação é, portanto, favorável ao deslocamento da ICU de Rennes para os distritos sul e oeste.

## **CONCLUSÃO**

A intensidade da ICU varia de acordo com o tempo e as estações do ano, mas também de acordo com as condições climáticas, justificando um monitoramento instrumental permanente. O monitoramento em tempo real através de estações conectadas e sensores recentemente instalados em Rennes (Rede Urbana de Rennes) permite obter interpolações espaciais precisas tendo em conta o uso do solo e, em particular, a densidade de edifícios e vegetação que sabemos que influenciam fortemente a configuração espacial da ICU.

Assim, localmente, parques e jardins permitem o desenvolvimento de ilhas frias de “proximidade”, reduzindo a ICU em alguns décimos de grau, em média. A questão de como a frequência da ICU poderia, por sua vez, afetar a fenologia das plantas, ainda pouco abordada na literatura, merece estudos adicionais.

O monitoramento das condições atmosféricas em tempo real também oferece um meio de acompanhar os eventos climatológicos que podem ter um forte impacto no ambiente e nas atividades humanas. Assim, a onda de calor de 2003, ou a ausência de geadas durante o inverno de 2019-2020 são fenômenos cujo monitoramento ao longo do tempo e a especialização podem ser cruciais no futuro se a sua frequência aumentar. A sua amplificação resultaria, então, tanto de mecanismos globais ligados às alterações climáticas globais quanto dos efeitos locais da extensão e da densificação da urbanização.

O mapeamento preciso da ICU é, portanto, crucial para identificar-se setores de alto risco, e ajudar os atores locais do planejamento urbano. Durante muito tempo uma cidade pioneira para a implementação de planos climáticos, Rennes enfrenta hoje desafios de crescimento que tornam cada vez mais difícil conciliar o desenvolvimento econômico, o bem-

estar das populações e desafios ambientais como as alterações climáticas. Além disso, o modelo de crescimento em “arquipélago” adotado pela Metrópole também levanta a questão do desenvolvimento de novas ICUs em municípios periféricos em franca expansão, onde as mudanças climáticas locais ainda são pouco conhecidas.

## AGRADECIMENTOS

Ao programa CAPES/COFECUB - processo: 88881.191765/2018-01; Sh 941/19 – projeto: CiCIAMEn (Cidades, Clima e Vegetação: Modelagem e Políticas Públicas Ambientais), pelo apoio financeiro.

Ao europeu COST FAIRNESS (CA20108 - FAIR NEtwork of micrometeorological measurements). Essa pesquisa também faz parte dos programas “Zone Atelier Armorique”, DIPEE (Dispositivos de parcerias em ecologia e meio ambiente) e o SNO-OBSERVIL do CNRS. Os autores agradecem todas as instituições e pessoas (numerosas demais para mencionar todas aqui) que participaram nas campanhas de medições desde 2003.

Este artigo é a versão portuguesa do artigo publicado em 2022 em francês na revista “Editions Techniques de l’Ingénieur”: <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/innovation-th10/les-technologies-numeriques-au-service-de-la-ville-et-de-la-personne-42674210/rennes-une-ville-climato-intelligente-sc8020/>.

## REFERÊNCIAS

ALCOFORADO M. J.; LOPES A.; ALVES E. D. L.; CANARIO P. Lisbon Heat Island - Statistical Study 2004-2012. **Finisterra**, v. 98, p. 61–80, 2014.

AMORIM, M. C. C. T.; DUBREUIL, V. Intensity of Urban Heat Islands in Tropical and Temperate Climates. **Climate**, v. 5, p. 91-104, 2017.

ARNFIELD, A. J. Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. **Int. J. Climatol**, v. 23, p. 1-26, 2003.

BESANCENOT, J. P. Climat et santé. À propos de la vague de chaleur de l’été 2003 en France. *In*: LAMARRE, D., **Les risques climatiques**, Paris, Belin, p. 115-126, 2005.

BOCHER, E. *et al.* GeoClimate: a Geospatial processing toolbox for environmental and climate studies. **Journal of Open Source Software**, v. 65, 2021.

CANTAT, O. L’îlot de chaleur urbain parisien selon les types de temps. **Norois**, v. 191, p. 1-37, 2004.

CARREGA, P. Le climat urbain de Nice en milieu géographique contrasté: synthèse par approche inductive. **Climatologie**, v. 10, p. 9-34, 2013.

DETTWILLER, J. Evolution séculaire du climat de Paris. Influence de l’urbanisation. **Mémorial de la Météorologie Nationale**, Paris, v. 83, 1970.

DUBREUIL, V.; BRABANT, C.; DELAUNAY, G.; QUENOL, H.; NABUCET, J.; AMORIM, M. 2020, première année sans gel dans le centre-ville de Rennes. *In*: XXXIVe Colloque de l’Association Internationale de Climatologie. **Anais [...]**. Mohammedia, Maroc, p. 184-191, 2021.

- DUBREUIL, V.; FOISSARD, X.; NABUCET, J.; THOMAS, A.; QUENOL, H. Fréquence et intensité des îlots de chaleur à rennes: bilan de 16 années d'observations (2004-2019). **Climatologie**, v. 17, n. 6, p. 1-17, 2020.
- DUBREUIL, V.; QUENOL, H.; FOISSARD, X.; PLANCHON, O. Climatologie urbaine et îlot de chaleur urbain à Rennes, *In*: Clergeau, P. (org.). **Ville et biodiversité: les enseignements d'une recherche pluridisciplinaire**. Rennes: Presses Universitaires de Rennes, p. 105-122, 2010.
- DUBREUIL, V.; QUENOL, H.; PLANCHON, O.; CLERGEAU, H. Variabilité quotidienne et saisonnière de l'îlot de chaleur urbain à Rennes: premiers résultats du programme ECORURB. **XXIe Colloque de l'Association Internationale de Climatologie**, Montpellier, v. 21, p. 221-227, 2008.
- ESCOURROU, G. **Le climat et la ville**. Paris: Nathan, 1991.
- FERNANDEZ GARCIA, F. **Manual de climatologia aplicada: clima, medio ambiente y planificación**. Madrid: Editorial síntesis, 1996.
- FOISSARD, X. **L'îlot de chaleur urbain et le changement climatique: application à l'agglomération rennaise**. Thèse de doctorat de géographie de l'Université Rennes 2, 2015.
- FOISSARD, X.; DUBREUIL, V.; QUENOL, H. Defining scales of the land use effect to map the urban heat island in a mid-size European city: Rennes (France). **Urban Climate**, v. 29, 2019.
- GAFFIN, S. R.; ROSENZWEIG, C.; KHANBILVARDI, R.; PARSHALL, L.; MAHANI, S.; GLICKMAN, H.; GOLDBERG, R.; BLAKE, R.; SLOSBERG, R. B.; HILLEL, D. Variations in New York City's urban heat island strength over time and space. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 94, p. 1-11, 2008.
- HIDALGO, J.; DUMAS, G.; MASSON, V.; PETIT, G.; BETCHTEL, B.; BOCHER, E. **IPCC - 6th Assessment Report**, 2021. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/>. Acesso em: 5 set. 2023.
- KASTENDEUCH, P.; NAJJAR, G.; LACARRERE, P.; COLIN, J. Modélisation de l'îlot de chaleur urbain à Strasbourg, **Climatologie**, v. 7, p. 21-38, 2010.
- MASSON, V. Urban surface modeling and the meso-scale impact of cities. **Theor. Appl. Climatol.** v. 84, p. 35-45, 2006.
- MESTAYER, P. G. *et al.* The urban boundary-layer field campaign in marseille (ubl/cluescompte): set-up and first results. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 114, p. 315-365, 2005.
- MORRIS, C.; SIMMONDS, I. Quantification of the influences of wind and cloud on the nocturnal urban heat island of a large city. **J. Appl. Meteor.** v. 40, n. 2, p. 169-182, 2001.
- OKE, T. R.; MILLS, G.; CHRISTSEN, A.; VOOGT, J. A. **Urban Climates**. Cambridge University Press, 2017.
- OKE, T. **Boundary Layer Climates**. Routledge, 2nd ed., 1987.
- PIGEON, G.; LEGAIN, D.; DURAND, P.; MASSON, V. Anthropogenic heat release in an old European agglomeration (Toulouse, France). **Int. J. Climatol.** v. 27, p. 1969-1981, 2007.
- POQUET, J.; DUBREUIL, V.; BOURIAU, E. Vulnérabilités et atouts du bassin rennais: quelle adaptation face au changement climatique? **Notes de l'AUDIAR**, 2019. Disponível em: <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-02486493>. Acesso em: 5 set. 2023.

- QUENOL, H.; DUBREUIL, V.; MIMET, A.; PELLISSIER, V.; AGUEJDAD, R.; CLERGEAU, P.; BRIDIER, S. Climat urbain et impact sur la phénologie végétale printanière. **La Météorologie**, v. 68, p. 50-57, 2010.
- RENARD, F.; ALONSO, L.; FITTS, Y.; HADJIOSIF, A.; COMBY, J. Evaluation of the Effect of Urban Redevelopment on Surface Urban Heat Islands. **Remote Sensing**, v. 11, 2019.
- RICHARD, Y.; EMERY, J.; DUDEK, J.; PERGAUD, J.; CHATEAU-SMITH, C. *et al.* How relevant are local climate zones and urban climate zones for urban climate research? Dijon (France) as a case study. **Urban Climate**, v. 26, p. 258-274, 2018.
- SCHOETTER, R.; MILLS, G. Comparison between local climate zones maps derived from administrative datasets and satellite observations. **Urban Climate**, v. 27, p. 64-89, 2019.
- STEWART, I. D.; OKE, T. R. Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. **Bull. Am. Meteorol. Soc.**, v. 93, p. 1879-1900, 2012.
- UN. **World Urbanization Prospects: The 2014 Revision**. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, ST/ESA/SER.A/366, 2015.
- YANG, X.; LI, Y.; LUO, Z.; CHAN, P. W. The urban cool island phenomenon in a high-rise high-density city and its mechanisms. **Int. J. Climatol.**, v. 37, p. 890-904, 2017.

## POSFÁCIO

Ao final da leitura desta obra fica-se com a certeza de que, sem dúvida alguma, os climas urbanos de cidades de pequeno e médio porte, localizadas em que latitude for e com as características do sítio urbano que tiverem, já estão comprometidos em função da forma como o espaço urbano tem sido produzido e das lógicas determinantes de sua expansão territorial.

A geração de ilhas de calor, como processo mais relevante das alterações climáticas das áreas urbanas estudadas, tem sua intensidade variável de lugar para lugar. Ora mais determinada pela forma urbana e massa edificatória, ora pelas características do sítio urbano, outras vezes pela ausência de áreas verdes, entre outros.

Seja por quais razões forem, os climas urbanos estão se alterando, repercutindo no cotidiano das populações urbanas e exigindo do poder público respostas para o enfrentamento deste enorme desafio.

As contribuições dos pesquisadores e especialistas que compõe esta obra, liderada pelos professores Margarete Amorim e Vincent Dubreuil, sem dúvida avançam no conhecimento do problema do clima urbano, já que há décadas estão debruçados no esforço de compreender, analisar e refletir sobre as alterações do clima nas cidades utilizando recursos técnicos cada vez mais sofisticados e abrangentes.

Os resultados alcançados até agora são significativos, tanto pela consistência científica e técnica, quanto pela quantidade de estudos de caso já realizados que proporcionam uma ótima oportunidade de análises comparativas, entre o que há em comum e o que é diferente, em cada situação.

Estes resultados podem contribuir de forma concreta para uma compreensão mais abrangente, ao serem incorporadas duas perspectivas que poderão nos ajudar a alargar nosso conhecimento sobre os climas urbanos. A primeira, que nos legou Leslie Curry<sup>17</sup>, é a de que o clima não é apenas um fato científico, mas uma teoria, dela tirando proveito cada pesquisador, em função de suas hipóteses e de seus objetivos. Assim, o conceito de clima é híbrido e complexo.

---

<sup>17</sup> Curry, L. Climate and economic life: a new approach. **The Geographical Review**, vol. 42, nº 3, p. 367-383, 1952.

A segunda, como demonstra muito bem Mike Hulme<sup>18</sup>, é a de que o clima também incorpora outras dimensões como aquelas que residem dentro da imaginação, por meio da acumulação de experiências sensoriais, assimilação mental, aprendizagem social e interpretações culturais, que são passadas por gerações e que distinguem o que seria o clima normal e esperado daquilo que seria um clima anormal, atípico ou irregular para uma dada região e como enfrentar suas consequências.

Assim, o clima pode ser considerado um fenômeno que não somente condiciona, mas que também é condicionado por outros objetos que lhe dão sentido, dotando-o de conteúdo (forma/conteúdo).

As interações espaciais e temporais do clima com o espaço se dão pelo reconhecimento de que este espaço é socialmente produzido, ou seja, por uma abordagem socioespacial que qualifica o espaço geográfico.

O espaço geográfico confere ao clima, além de atributos físicos/naturais, outras possibilidades analíticas que aumentam a sua complexidade, dotando-o de outras dimensões, como as culturais (simbólico), as psicossociais (vivência), as ideológicas (desigualdade), entre outras.

O clima, assim, torna-se tanto um fenômeno materializado no tempo/espaço, quanto assume uma dimensão imaterial, moldado historicamente pelas relações entre a sociedade e a natureza, que lhe conferem valor.

Desta forma, os resultados alcançados pelo conjunto de estudos que compõe esta obra, são fundamentais para o avanço do conhecimento sobre os climas urbanos. Tais resultados são pré-condição para avançar na dimensão dos desafios sobre as relações entre as alterações climáticas e o futuro da humanidade e além dos estudos sobre o clima como fenômeno físico, se incorporem as suas outras dimensões, como contribuição fundamental.

Esta obra torna-se, assim, indispensável para todos os que se dedicam ao estudo dos climas urbanos e de seus desafios na construção de um mundo mais sustentável e justo.

Porto, fevereiro de 2024.  
João Lima Sant'Anna Neto.

---

<sup>18</sup> Hulme, M. **Weathered: cultures of climate**. London: Sage, 2016.

## DESCRIÇÃO SUMÁRIA DOS ORGANIZADORES E AUTORES (ORDEM ALFABÉTICA)

### ORGANIZADORES:

#### **Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim**

<http://lattes.cnpq.br/6644811083291335>

<https://orcid.org/0000-0002-3975-493X>

Livre-docente em Climatologia Geográfica pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (Unesp), Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT), campus de Presidente Prudente, possui pós-doutorado pela Universidade do Porto (UP), Faculdade de Letras da Universidade do Porto (FLUP), Portugal, e estágio de pesquisa na Universidade de Rennes II, França, e Universidade de Coimbra, Portugal. Doutora em Geografia (Geografia Física) pela Universidade de São Paulo (USP), Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas (FFLCH), mestre e graduada (licenciatura e bacharelado) em Geografia pela Unesp-FCT, é docente da graduação e da pós-graduação em Geografia da Unesp-FCT. Bolsista de produtividade em pesquisa do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), é líder do grupo de pesquisa Interações na Superfície Terrestre, Água e Atmosfera (GAIA) credenciado pelo CNPq. possui experiência nas áreas de climatologia geográfica, clima urbano e qualidade ambiental urbana.

**E-mail:** [margarete.amorim@unesp.br](mailto:margarete.amorim@unesp.br)

#### **Vincent Dubreuil**

<http://lattes.cnpq.br/4820223919671343>

<https://perso.univ-rennes2.fr/vincent.dubreuil>

<http://orcid.org/0000-0001-8383-805X>

Possui Doutorado (1994) e Livre-docência (2005) em Climatologia geográfica - *Université Rennes 2*. Atualmente é Professor Titular na Universidade Rennes 2, França; vice-presidente do Conselho Nacional das Universidades Francesas (seção Geografia) de 2015 até 2023; tesoureiro da *Association Internationale de Climatologie* 2012-2017 e secretaria da mesma de 2000 até 2006. Foi Diretor do Laboratório COSTEL (CNRS) de 2001 até 2007 e diretor da *Ecole Doctorale "Ciencias Humanas e Sociais"* da Bretanha. Em 2014, atuou como professor visitante no âmbito do programa das Cátedras Francesas do Estado de São Paulo, Campus de UNESP- Presidente Prudente; em 2008, como Professor Visitante Estrangeiro no Centro de Desenvolvimento Sustentável da Universidade de Brasília (bolsista da CAPES). Tem experiência na área de geociências, com ênfase em geografia física, climatologia e sensoriamento remoto e seus projetos atuais são sobre riscos e mudanças climáticas, clima urbano, dinâmica do uso do solo, agricultura e desenvolvimento sustentável no Brasil (Amazônia mato-grossense) e França.

**E-mail:** [vincent.dubreuil@univ-rennes2.fr](mailto:vincent.dubreuil@univ-rennes2.fr)

## DEMAIS AUTORES:

### **Andrea Cavicchioli**

<http://lattes.cnpq.br/2583862022834436>

<https://orcid.org/0000-0003-0374-3224>

Possui graduação em Química Industrial - *Universita Degli Studi di Milano* (1994), mestrado em Química Analítica Ambiental - *University of London* (1996) e doutorado em Química (Química Analítica) pela Universidade de São Paulo (2002). Atualmente é professor associado da Universidade de São Paulo, atuando nos cursos de bacharelado em gestão ambiental e biotecnologia e no mestrado e no doutorado do programa de pós-graduação interdisciplinar em Sustentabilidade da EACH. É responsável por projetos de pesquisa relacionados com estratégias de conservação do patrimônio natural e cultural, com a poluição no meio urbano (especialmente em ambientes fechados) e seus efeitos na saúde humana e na conservação dos materiais, incluindo-se a avaliação das consequências de mudanças climáticas nas questões enumeradas acima.

E-mail: [andrecav@usp.br](mailto:andrecav@usp.br)

### **Bruno Diego Cardoso**

Formado em Engenharia Florestal na UNEMAT. Engenheiro e analista no Instituto Centro de Vida – ICV em Alta Floresta-MT.

E-mail: [bruno.cardoso@icv.org.br](mailto:bruno.cardoso@icv.org.br)

### **Carla Moura de Paulo**

<https://lattes.cnpq.br/3715175733859037>

Pós-doutoranda na Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo (EACH/USP), onde atuou como professora temporária no curso de graduação em Gestão Ambiental. Doutora e Mestre em Ciência Ambiental pela Universidade de São Paulo - PROCAM/USP. Graduada no curso Bacharelado em Gestão Ambiental da EACH/USP, desenvolveu sua tese sobre as políticas de biodiversidade e mudanças climáticas, suas (des)articulações e reflexos no Mato Grosso, período no qual realizou estágio doutoral na França pela Université Rennes 2. Foi pesquisadora (PCI) no Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CCST) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Atualmente é docente nos cursos de graduação em Tecnologia em Gestão Ambiental, Licenciatura em Pedagogia e Licenciatura em Letras no Centro Universitário SENAC-SP. Como pesquisadora, está vinculada ao Grupo de Políticas Públicas, Territorialidades e Sociedade do Instituto de Estudos Avançados da USP, e é integrante do Grupo de Estudos e Pesquisas em Psicologia Política, Políticas Públicas e Multiculturalismo da EACH-USP.

E-mail: [carla.moura@usp.br](mailto:carla.moura@usp.br)

### **Carlos Antonio da Silva Junior**

<http://lattes.cnpq.br/4249094513528309>

<https://orcid.org/0000-0002-7102-2077>

Professor Adjunto da Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT) no departamento de Geografia, Campus Sinop. Docente-Orientador permanente dos Programas de Pós-Graduação Stricto Sensu em Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos (UNEMAT), Rede de Biodiversidade e Biotecnologia da Amazônia Legal (UNEMAT-Bionorte) e Ciências Ambientais (UFMT). Doutor e mestre em Agronomia (Universidade Estadual de Maringá-UEM/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE) e Engenheiro-Agrônomo (Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul-UEMS). É bolsista de produtividade em pesquisa do CNPq - Nível 2 (Ciências Ambientais) e Consultor da CAPES (Área de Ciência Ambientais). É revisor

*ad hoc* de periódicos científicos nacionais e internacionais, tais como *Computers and Electronics in Agriculture*, *Nature Communications*, *Scientific Reports* e *Scientific Data (Nature)*. Atua como Editor nas revistas científicas *Remote Sensing Applications: Society and Environment (Elsevier)*, *Frontiers in Climate (Frontiers)* e *Big Earth Data (Taylor Francis)*. É coordenador do lab. GAAF (<https://pesquisa.unemat.br/gaaf/>) e da plataforma SojaMaps. Membro eleito do Conselho ISDE (*International Society for Digital Earth*) junto à Academia Chinesa de Ciências e *Institute of Remote Sensing and Digital Earth*. Tem experiência na área de agronomia e meio ambiente, com ênfase em sensoriamento remoto aplicado ao ambiente. Atua principalmente na área de ciências ambientais nos seguintes temas: sensoriamento remoto multi e hiperespectral, séries-temporais, modelos espectrais, análise orientada em geo-objeto e monitoramento da superfície terrestre e sua influência climática.

**E-mail:** [carlosjr@unemat.br](mailto:carlosjr@unemat.br)

### **Charlotte Brabant**

<https://letg.cnrs.fr/author/charlotte-brabant/>

<https://orcid.org/0000-0003-3980-2919>

Doutoranda em geografia/geomática na Universidade de Rennes 2, Faculdade de Ciências Sociais e Humanas da UMR Littoral Environment Télédétection et Géomatique (LETG). A tese (em andamento) estuda as interações entre a ilha de calor urbana e a fenologia da vegetação arbórea nas cidades bretãs. Com bacharelado em geografia ambiental e mestrado em sensoriamento remoto/meio ambiente, possui conhecimentos nas áreas de ecologia e climatologia urbana, bem como sensoriamento remoto aplicado ao ambiente urbano.

**E-mail:** [charlotte.brabant@univ-rennes2.fr](mailto:charlotte.brabant@univ-rennes2.fr)

### **Damien Arvor**

<http://lattes.cnpq.br/2940915374250704>

<https://orcid.org/0000-0002-3017-9625>

Livre-docente e Doutor em Geografia pela Universidade de Rennes 2, atua como pesquisador pelo Centro Nacional de Pesquisa Científica (CNRS) em Rennes, na unidade de pesquisa LETG. Tem experiência em monitoramento das dinâmicas de cobertura/uso do solo a partir de dados e técnicas de sensoriamento remoto da dinâmica de cobertura/uso da terra em fronteiras agrícolas tropicais. Também trabalha com o uso de imagens de satélites para monitorar a variabilidade espaço-temporal da pluviometria. Coordenou e participou de inúmeros projetos internacionais de pesquisa, sobretudo com o Brasil.

**E-mail:** [damien.arvor@univ-rennes2.fr](mailto:damien.arvor@univ-rennes2.fr)

### **Danielle Cardozo Frasca Teixeira**

<http://lattes.cnpq.br/7165991581840732>

<https://orcid.org/0000-0003-4849-7581>

Graduada, mestra e doutora em Geografia pela Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, campus Presidente Prudente (Capes 7). É professora Assistente do Departamento de Geografia, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, campus Presidente Prudente, ministrando aulas nos cursos de Engenharia Ambiental, Engenharia Cartográfica e agrimensura e Arquitetura e Urbanismo. É membra do corpo editorial da Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia - Formação (online). Integra o corpo de pesquisadores da Rede Questões Ambientais Urbanas e o Grupo de Pesquisa Interações na Superfície Terrestre, Água e Atmosfera (GAIA), credenciado ao CNPQ. É membro da rede temática de extensão "Nós propomos: Articulação Unesp e escola para a cidadania", exercendo a função de vice-coordenadora executiva do projeto na unidade Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente. Exerce a função de vice-

coordenadora da estação meteorológica e do Laboratório de Climatologia da FCT Unesp. É supervisora da Empresa Júnior Geoambiental. Realiza pesquisa com ênfase em clima urbano, ilha de calor urbana, qualidade do ar e impactos meteóricos. Trabalha na frente direta dos métodos e técnicas de pesquisa em climatologia geográfica, geotecnologias, modelagem espacial da ilha de calor urbana, qualidade ambiental urbana, clima urbano e vulnerabilidade socioambiental.

**E-mail:** [danielle.frasca@unesp.br](mailto:danielle.frasca@unesp.br)

### **Eduardo de Lima Caldas**

<http://lattes.cnpq.br/8783485816203388>

<https://orcid.org/0000-0002-2825-661X>

Possui graduação em Economia pela Universidade de São Paulo (1995), mestrado em Ciência Política pela Universidade de São Paulo (2003), mestrado em Administração Pública e Governo pela Fundação Getúlio Vargas – SP (2002), doutorado em Ciência Política pela Universidade de São Paulo (2008). Em 2009, recebeu a Bolsa Jovens Pesquisadores do Centro de Estudos Sociais da Universidade de Coimbra. Em 2011, recebeu o Prêmio Jorge Oscar de Mello Flores de melhor artigo publicado na Revista de Administração Pública (RAP) do ano anterior, 2010. Realizou seu pós-doutorado no Centre International de Recherches Agronomiques pour le Développement (2013) e livre-docência em Ciências Sociais Aplicadas pela Universidade de São Paulo (2017). Foi professor convidado na Universidade de Paris (Sorbonne Nouvelle) em 2022. Atualmente é Professor Associado (Livre Docente) em Regime de Dedicção Integral da Universidade de São Paulo. Está vinculado ao Curso de Graduação em Gestão de Políticas Públicas da Escola de Artes, Ciências e Humanidades (EACH) e credenciado nos Programas de Pós-Graduação em Ciência Ambiental (PROCAM) e Mudança Social e Participação Política (PROMUSPP).

**E-mail:** [eduardocaldas@usp.br](mailto:eduardocaldas@usp.br)

### **Francisco de Assis Mendonça**

<http://lattes.cnpq.br/3941384182506697>

Possui Doutorado (Clima e planejamento urbano - USP, 1995) e pós-doutorado (Epistemologia da Geografia - Université de Haute Bretagne/Rennes II, 2004 e Sorbonne/Paris I/França, 2005; Estudo do ambiente urbano - Universidad de Chile - 2014) em Geografia. É Professor Titular da UFPR e Professor Visitante da UERJ; professor convidado na Université de Sorbonne/Paris I/Institut de Géographie (2002), na Université de Haute Bretagne/Rennes II/França (2004) e pesquisador convidado na London School of Hygiene and Tropical Medicine (Londres/Inglaterra 2005) e no Laboratoire PRODIG/França (Univ. Sorbonne/Paris 1, 2005). Membro da CoC - Comissão de Climatologia da UGI - União Geográfica Internacional (2012/2022), e presidente da AIC - Associação Internacional de Climatologia (2015-2018). Presidente da ABClima - Associação Brasileira de Climatologia (2002-2004), da ANPEGE - Associação Nacional de Pesquisa e Pós-graduação em Geografia (2007-2009), e membro da direção da ANPPAS (Associação Nacional de Pesquisa e Pós-graduação em Ambiente e Sociedade (2004-2008). Membro do CTC-CEMANDEN (desde 2019). É pesquisador 1A-CNPQ desde 2013.

**E-mail:** [chico@ufpr.br](mailto:chico@ufpr.br)

### **François Leprince**

Diretor Associado da empresa ALKANTE – Noyal sur Vilaine. Professor Associado na Universidade de Rennes 2 (Mestrado SIGAT) - Presidente Réseau Entreprendre Bretagne.

**E-mail:** [f.leprince@alkante.com](mailto:f.leprince@alkante.com)

### **Frédéric Clain**

Empresa Wi6labs, Rennes.

**E-mail:** [frederic.clain@wi6labs.com](mailto:frederic.clain@wi6labs.com)

### **Gabriel Delaunay**

Engenheiro de estudos em análise espacial do meio ambiente na Universidade de Rennes 2, LETG-Rennes, Bacharel em Ciências da Vida e da Terra, opção em biologia ambiental e geologia na Universidade de Nantes. Mestrado em cartografia e gestão ambiental na Universidade de Nantes, estágio no LPG-Nantes em detecção remota da costa, estágio na LETG-Angers em análise espacial e temporal do uso do solo.

**E-mail :** [gabriel.delaunay97@gmail.com](mailto:gabriel.delaunay97@gmail.com)

### **Geisa Silveira da Rocha**

<http://lattes.cnpq.br/1431724023778991>

Professora Adjunta do Departamento de História e Geografia na Université de Moncton (Canadá), é graduada em Geografia (licenciatura e bacharel) pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Técnica em Meteorologia pelo Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC). Mestre em Geografia pela Universidade Federal de Santa Catarina (2016), na linha de pesquisa Desenvolvimento Regional e Urbano (DRU), na qual foi bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES - 2014-2016) e membra do Laboratório Cidade e Sociedade. Doutora em Geografia pela Universidade Federal do Paraná (UFPR), na linha de pesquisa Paisagem e Análise Ambiental. Foi bolsista CAPES do Programa de Excelência Acadêmica e participou do programa Institucional de Internacionalização da UFPR (PrInt) realizando doutorado sanduíche na Université Rennes 2 (França) por um período de 6 meses (set/19 a fev/2020). Possui experiência em planejamento urbano e territorial, climatologia geográfica e clima urbano.

**E-mail:** [geisarochageo@gmail.com](mailto:geisarochageo@gmail.com)

### **Gislene Figueiredo Ortiz Porangaba**

<http://lattes.cnpq.br/6164080239154438>

<https://orcid.org/0000-0003-0796-2547>

Pós-doutorado em andamento pela Universidade de São Paulo (USP), Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas (FFLCH), possui pós-doutorado em Geografia pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (Unesp), Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT), campus de Presidente Prudente. Doutora em Geografia pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (Unesp), Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT), campus de Presidente Prudente, com período sanduíche na *Universidad Autónoma de Madrid* (2014). Mestre e graduada (licenciatura) em Geografia pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (Unesp), Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT), campus de Presidente Prudente. Professora da graduação (licenciatura e bacharelado) e da pós-graduação em Geografia na Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, campus de Três Lagoas. Tem experiência em Geografia, com ênfase em Geografia Física, atuando principalmente nos temas: climatologia geográfica, clima urbano, geotecnologias e risco e vulnerabilidade socioambiental.

**E-mail:** [gislene.ortiz@ufms.br](mailto:gislene.ortiz@ufms.br)

### **Glauber Verner Firmino**

<http://lattes.cnpq.br/0005865833300438>

<https://orcid.org/0000-0003-2905-0346>

Mestre em Geografia pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT), campus de Presidente Prudente. Graduado em

Geografia pela Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM), campus de Uberaba–MG. Atualmente, é doutorando em Geografia no Programa de Pós-graduação em Geografia da FCT–UNESP, sendo também bolsista da CAPES. Participante do grupo de pesquisa Interações na Superfície Terrestre, Água e Atmosfera (GAIA). Possui como temas de interesse cartografia, cartografia geomorfológica, geoprocessamento e susceptibilidade a processos erosivos.

**E-mail:** [glauber.firmino@unesp.br](mailto:glauber.firmino@unesp.br)

### **Gustavo Henrique Pereira da Silva**

<http://lattes.cnpq.br/0114360249195991>

<https://orcid.org/0000-0001-9047-8830>

Graduado nos cursos de Licenciatura (2017) e bacharelado (2018) em Geografia pela Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente, UNESP. É mestre e atualmente doutorando do Programa de Pós-Graduação em Geografia pela mesma instituição. É integrante do Grupo de Pesquisa Interações na Superfície Terrestre, Água e Atmosfera (GAIA), que é credenciado pelo CNPQ. Realizou estágio no exterior vinculado ao projeto 88887.650631/2021-00, CAPES/COFECUB (Comitê Francês de Avaliação da Cooperação Universitária com o Brasil). Possui experiência nas áreas de climatologia geográfica e clima urbano.

**E-mail:** [gustavo.silva@unesp.br](mailto:gustavo.silva@unesp.br)

### **Hermiliano Felipe Decco**

<http://lattes.cnpq.br/4366115083921782>

<https://orcid.org/0000-0002-0245-5557>

Doutor em Geografia pela Universidade Estadual de Londrina (UEL), mestre e graduado (Bacharel) em Geografia pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) campus de Três Lagoas (CPTL). Técnico em Cartografia do Laboratório de Biogeografia e Climatologia Geográfica (LaBiCGeo) da UFMS/CPTL, possuindo experiência nas áreas de pedologia, clima urbano e análise integrada da paisagem.

**E-mail:** [hermiliano.decco@ufms.br](mailto:hermiliano.decco@ufms.br)

### **Hervé Quenol**

<https://perso.univ-rennes2.fr/herve.quenol>

<https://orcid.org/0000-0002-5562-2232>

Geógrafo-climatologista, trabalha como cientista sênior no Centro Nacional de Pesquisa Científica (CNRS) no laboratório LETG (Littoral Environment Remote-Sensing Geomatics), Universidade Rennes 2, França. A sua investigação centra-se em análises e modelagem do clima em escalas finas no contexto das mudanças climáticas; climatologia e viticultura; climatologia urbana. Coordenador de aproximadamente 15 projetos de pesquisa e autor de mais de 100 publicações em revistas nacionais e internacionais.

**E-mail:** [herve.quenol@univ-rennes2.fr](mailto:herve.quenol@univ-rennes2.fr)

### **Isabelle Bonini**

<http://lattes.cnpq.br/1132708541464118>

<https://orcid.org/0000-0003-4684-8309>

Doutora em Ecologia e Conservação pela Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), Faculdade de Ciências Agrárias, Biológicas e Sociais Aplicadas (FABIS), campus de Nova Xavantina, possui mestrado em Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos também pela UNEMAT, Faculdade de Ciências Biológicas e Agrárias, (FACBA), campus de Alta Floresta. cursou MBA em Gestão e Perícia Ambiental e graduação em Ciências Biológicas (bacharelado e licenciatura) pela Universidade de Cuiabá (Unic), campus Beira Rio - Cuiabá. Integrante do Projeto Rede Floresta (ReFlor): biodiversidade, mudanças climáticas e biotecnologia no Arco

do Desmatamento, coordenado pelo Prof. Dr. Ben Hur Marimon Junior e financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso (FAPEMAT). Atualmente é servidora da Perícia Oficial e Identificação Técnica do Estado de Mato Grosso (POLITEC). Possui experiência em Ecologia de Ecossistemas, com ênfase em ecossistemas terrestres, ciclos biogeoquímicos, impactos ambientais e mudanças climáticas.

**E-mail:** [isabellebonini@politec.mt.gov.br](mailto:isabellebonini@politec.mt.gov.br)

### **Jean Nabucet**

<https://www.cnrs.fr/fr/personne/jean-nabucet>

Engenheiro pesquisador do CNRS em ciências da informação geográfica no laboratório LETG, UMR 6544 CNRS, Universidade Rennes 2, França. Geógrafo especializado na avaliação do impacto das sociedades humanas na paisagem urbana através da detecção remota, obteve o doutoramento em geografia em 2018. As suas competências técnicas são mobilizadas por uma grande comunidade de investigadores, o que lhe tem permitido liderar ou participar em diversas redes temáticas; por exemplo: no conselho metropolitano de biodiversidade e água da metrópole de Rennes, no grupo de interesse científico de detecção remota da Bretanha ou no centro nacional de dados e serviços de superfície continental (THEIA). O seu trabalho de investigação no serviço nacional de observação Observil e na Zone Atelier Armorique melhora o conhecimento sobre a adaptação da cidade às alterações climáticas e apoia os planeadores urbanos e rurais na transição de territórios. Medalha de Cristal CNRS em 2023.

**E-mail:** [jean.nabucet@univ-rennes2.fr](mailto:jean.nabucet@univ-rennes2.fr)

### **Jérôme Dreano**

Mestrado em Ciências do Oceano, da Atmosfera e do Clima da Universidade Pierre e Marie Curie, Paris, França. Gerente da empresa Météo Concept, especialista em instrumentação meteorológica, modelagem meteorológica, dados meteorológicos e expertise meteorológica para empresas, mídia e público em geral.

Empresa MeteoConcept, Rennes.

**E-mail:** [jerome.dreano@meteo-concept.fr](mailto:jerome.dreano@meteo-concept.fr)

### **João Lucas Della Silva**

<http://lattes.cnpq.br/0101215120935929>

<https://orcid.org/0000-0002-9569-7538>

Doutorando em Biodiversidade e Biotecnologia da Rede BIONORTE pela Universidade do Estado de Mato Grosso Carlos Alberto Reyes Maldonado (UNEMAT) e estágio de pesquisa na Université Rennes II, França. Possui mestrado em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Mato Grosso (UNEMAT), especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Faculdade de Sinop (FASIPE) e bacharel em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Mato Grosso Carlos Alberto Reyes Maldonado (UNEMAT). Possui experiência nas áreas de fontes alternativas de energia, geoprocessamento e sensoriamento remoto do ambiente.

**E-mail:** [jdellasilva@gmail.com](mailto:jdellasilva@gmail.com)

### **João Osvaldo Rodrigues Nunes**

<http://lattes.cnpq.br/4756709773076464>

<https://orcid.org/0000-0003-3924-4056>

Possui graduação em Geografia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (1990), doutorado em Geografia pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (2002), Pós-doutorado pela Universidade de Alicante, Espanha (2008-2009) e Livre Docência em Geografia Física pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (2014). Atualmente é Professor Associado III do Departamento de Geografia da Faculdade de Ciências

e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Orientador de mestrado e doutorado. Tem experiência na área de geografia física, com ênfase em geomorfologia, atuando principalmente nos seguintes temas: geomorfologia, mapeamento geomorfológico, erosão, depósitos tecnogênicos e ambiente. Bolsista de Produtividade Nível E.  
**E-mail:** [joao.o.nunes@unesp.br](mailto:joao.o.nunes@unesp.br)

**Larissa Vieira Zezzo**

<http://lattes.cnpq.br/2644283040353257>

<https://orcid.org/0000-0001-7953-650X>

Estudante de doutorado no Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Realizou estágio de pesquisa durante o doutorado na “Université Rennes 2” (França) com financiamento do governo francês (“Bourse Eiffel”). Mestre em Geociências e Meio ambiente pela Universidade Estadual Paulista (UNESP). Graduada em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP). Realizou graduação sanduíche na “Universidad de Córdoba” (Espanha) com bolsa do CNPq. Possui experiência nas áreas de sustentabilidade, clima urbano e mudanças climáticas, assim como educação e comunicação em climatologia.

**E-mail:** [l229914@dac.unicamp.br](mailto:l229914@dac.unicamp.br)

**Laurent Georget**

<https://cv.hal.science/laurent-georget>

Possui graduação em Engenharia Informática, com mestrado de investigação em Ciências da Computação no Instituto Nacional de Ciências Aplicadas (INSA) em Rennes, França, e doutorado em Ciências da Computação, na área da segurança cibernética, da Universidade de Rennes 1 (2017). Consultor meteorológico na Météo Concept, atualmente é Diretor de Sistemas de Informação e Gestor de Pesquisa e Desenvolvimento. Experiência em medição meteorológica, na Internet das Coisas e no design de cadeias de processamento de dados, desde sensores de campo a interfaces homem-máquina, incluindo sistemas de TI inovadores e seguros.

**E-mail :** [laurent.georget@meteo-concept.fr](mailto:laurent.georget@meteo-concept.fr)

**Laurimar Gonçalves Vendrusculo**

<http://lattes.cnpq.br/6825200019787340>

Obteve seu Ph.D. na Iowa State University (2014) com *double degree em Agriculture and Biosystem Engineering Department e no Environmental Science program*, mestrado em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual de Campinas (2001) e possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Minas Gerais (1988). Atualmente é pesquisador A da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Tem experiência na área de ciência da computação, com ênfase em sistemas de computação, atuando principalmente nos seguintes temas: banco de dados, *datamining*, geoestatística, aplicações web, tecnologias de informação e variabilidade espacial.

**E-mail:** [laurimar.vendrusculo@embrapa.br](mailto:laurimar.vendrusculo@embrapa.br)

**Luis Flávio de Araújo**

<http://lattes.cnpq.br/0114037144799516>

<https://orcid.org/0000-0002-2698-8091>

Doutor e mestre (2021) pelo Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Campus de Presidente Prudente. Graduado em Geografia (2018) pela Universidade Federal de Mato Grosso, Campus Cuiabá, é integrante do Grupo de Pesquisa Interações na Superfície Terrestre, Água e Atmosfera, credenciado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

(CNPq). Atua nas áreas de climatologia geográfica, clima urbano e geotecnologias aplicadas à análise ambiental.

**E-mail:** [lf.araujo@unesp.br](mailto:lf.araujo@unesp.br)

**Marco Antonio Camillo de Carvalho**

<http://lattes.cnpq.br/2219061872247474>

<https://orcid.org/0000-0003-4966-1013>

Professor Adjunto da Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), Campus de Alta Floresta – MT. Possui graduação em Agronomia pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (1985), mestrado em Agronomia (Produção Vegetal) pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (1997), doutorado em Agronomia (Produção Vegetal) pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (2000), e pós-doutorado pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (2018). É professor permanente dos programas de mestrado em “Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos” e “Ambiente e Sistemas de Produção Agrícola”. Possui experiência nas áreas de fitotecnia e de solos com ênfase nas grandes culturas da soja, milho e algodão, fertilidade e física do solo e manejo de pastagens. É líder do grupo de pesquisa “Solos”.

**E-mail:** [marcocarvalho@unemat.br](mailto:marcocarvalho@unemat.br)

**Mauro Henrique Soares da Silva**

<http://lattes.cnpq.br/4370286926305960>

<https://orcid.org/0000-0001-7710-3153>

Doutor em Geografia pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (Unesp), Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT), campus de Presidente Prudente, com estágio de doutorado na Universidade de Coimbra em Portugal. Possui pós-doutorado pela Universidade de Rennes II, França, realizado no período de 2021 e 2022. A graduação e mestrado em Geografia foram concluídas na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, onde atualmente atua como docente nos cursos de licenciatura e bacharelado em Geografia, bem como na Pós-graduação em Geografia, ambos no Campus de Três Lagoas. É Coordenador do Laboratório de Biogeografia e Climatologia Geográfica – LaBiCGeo/UFMS/CPTL e também Tutor do Grupo PET-Geografia/CPTL. Possui experiência nas áreas de climatologia geográfica, biogeografia e geografia da saúde.

**E-mail:** [mauro.soares@ufms.br](mailto:mauro.soares@ufms.br)

**Priscila Pereira Coltri**

<http://lattes.cnpq.br/7282763701085219>

<https://orcid.org/0000-0002-0807-3410>

Pesquisadora do Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (CEPAGRI) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Professor Permanente do Programa de Pós-graduação em Ensino e História de Ciências da Terra (EHCT), do Instituto de Geociências (IG/UNICAMP) e do Programa de Pós-graduação Multiunidades em Ensino de Ciências e Matemática (PECIM). Graduada em Engenharia Agrônoma pela Universidade de São Paulo - ESALQ/USP, é licenciada em Ciências Agrárias pela mesma universidade. Possui especialização em Gerenciamento Ambiental pela USP e mestrado em Agronomia, na área de Fitotecnia pela USP. Foi bolsista (Modalidade DTI, CNPQ) do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Possui doutorado pela Faculdade de Engenharia Agrícola (Feagri), da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) com doutorado sanduíche na Universidade de Rennes 2, França e pós-doutorado no "Le Laboratoire des Sciences du Climat et l'Environnement (LSCE)", França. Atualmente, é diretora do Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à

Agricultura (CEPAGRI), UNICAMP e atua, principalmente, nas seguintes linhas de pesquisa: Agrometeorologia e Modelagem, Climatologia, Mudanças Climáticas, Educação e Comunicação em Climatologia.

**E-mail:** [pcoltri@unicamp.br](mailto:pcoltri@unicamp.br)

### **Renata dos Santos Cardoso**

<http://lattes.cnpq.br/7704752226463401>

<https://orcid.org/0000-0003-0217-1041>

Doutora, mestra e graduada em Geografia pela Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT), campus de Presidente Prudente, Brasil. Participou do grupo de pesquisa Interações na Superfície Terrestre, Água e Atmosfera (GAIA), credenciado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Realizou estágio de pesquisa na Ohio State University, Estados Unidos, e University of Western Ontario, Canadá. possui experiência em climatologia urbana e modelagem microclimática.

**E-mail:** [renata.cardoso@unesp.br](mailto:renata.cardoso@unesp.br)

### **Thiago de Souza Rizzi**

<https://orcid.org/0000-0002-1573-9196>

Possui mestrado em Agronomia 2017 (Área de Concentração: Ciências Agrárias, Linha de Engenheiro Agrônomo do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, Campus Sorriso) e doutorando em Fitotecnia na Universidade Federal de Viçosa. Mestre em Agronomia (2020) pela Universidade Federal de Mato Grosso, Campus Universitário de Sinop, é pós-graduado (*lato sensu*) em Geoprocessamento e Georreferenciamento (2017) pela Universidade Cândido Mendes. Bacharel em Engenharia Agrônômica (2015), é Técnico em Agropecuária (2010) pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia, Campus Colorado do Oeste. Integra o Grupo de pesquisa Sistemas de Produção Agrícola no Cerrado e tem experiência na área de agronomia e zootecnia nos seguintes temas: culturas anuais, melhoramento vegetal, entomologia agrícola, pastagens e forragicultura e integração lavoura-pecuária.

**E-mail:** [thiago.rizzi@ifmt.edu.br](mailto:thiago.rizzi@ifmt.edu.br)

### **Vincent Nédélec**

<http://lattes.cnpq.br/9036853848474759>

Possui graduação em História - Université de Rennes II - França (2000), graduação em Geografia - Université de Rennes 2 - França (2000), mestrado em DEA Espace Société Télédétection Environnement Aménagement - Université de Rennes 2 - França (2001), doutorado em Sciences Sociales Et Humaines Géographie - Université de Rennes 2 - França (2005) e doutorado em Desenvolvimento Sustentável pela Universidade de Brasília (2005). Atualmente é pesquisador associado da Universidade de Brasília e professor titular - Université de Rennes 2 - França. Tem experiência na área de geociências, com ênfase em sensoriamento remoto, atuando principalmente nos seguintes temas: colonização agrícola, sensoriamento remoto, análise espacial, meio ambiente, desenvolvimento sustentável e amazônia.

**E-mail:** [vincent.nedelec@univ-rennes2.fr](mailto:vincent.nedelec@univ-rennes2.fr)



# CIDADES, CLIMA E VEGETAÇÃO

modelagem e políticas públicas ambientais

Margarete Crístiane de Costa Trindade Amorim  
Vincent Dubreuil  
(organizadores)

