

ILHAS DE CALOR URBANAS E OS ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS E AMBIENTAIS PARA O MUNICÍPIO DE INDAIATUBA (SP)

Fernanda Cristina Zanni Pestana ¹
Larissa Vieira Zezzo ²
Priscila Pereira Coltri ³

INTRODUÇÃO⁴

A criação da cidade é longínqua, entretanto ao ser inserida no processo de urbanização ganha caráter social e territorial seletivo (Lefebvre, 2002). As cidades brasileiras, em sua grande maioria, mal planejadas e carentes de infraestrutura adequada, geram alterações ambientais e problemáticas sociais. As desigualdades sistêmicas e condições de vulnerabilidade têm ganhado destaque nos estudos ambientais. O conceito de vulnerabilidade é polissêmico, mas pode ser utilizado, segundo Confalonieri (2015), para caracterizar populações mais afetadas por estresse de natureza ambiental, partindo de alguns determinantes primários como a renda, cultura, educação e poder político.

As alterações ambientais são ocasionadas pela remoção da cobertura vegetal, impermeabilização da superfície, canalização dos rios, além da inserção da circulação de automóveis e dos poluentes emitidos por atividades antrópicas (Amorim, 2010). Logo, a maneira como o ser humano organiza o espaço geográfico possui a capacidade de traçar alterações no clima em diversas escalas, por ser um sistema aberto.

A constituição de microclimas decorrente das mudanças no balanço hídrico e energético é capaz de modificar os padrões atmosféricos, gerando impactos na circulação e dispersão do ar, albedo, calor, evapotranspiração e balanço de energia na superfície (Silva et al., 2015). Um dos fenômenos característicos do clima urbano é a Ilha de Calor Urbana (ICU), verificada a partir da diferença de temperatura mínima entre a área urbana e as áreas circunvizinhas com aspectos rurais (Oke, 1978). As ICUs são facilmente caracterizadas no período noturno, com o resfriamento lento decorrente do menor albedo dos materiais que a constituem em relação ao entorno (Amorim et al., 2021).

¹ Graduanda do Curso de geografia da Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP
f168573@dac.unicamp.br;

² Doutoranda do Programa de Pós Graduação em Ensino e História das Ciências da Terra pela Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, larisvz@gmail.com;

³ Professora orientadora: doutora, Instituto de Geociências - UNICAMP, pcoltri@cpa.unicamp.br;

⁴ O presente trabalho é resultado do projeto de iniciação científica submetido ao Edital PIBIC nº 1/2024, cujo título é “CONFORTO TÉRMICO DOS MORADORES DO MUNICÍPIO DE INDAIATUBA: UMA ANÁLISE MULTIFATORIAL”, se aprovado, contará com o financiamento da agência CAPES.

As ICUs, segundo Neto e Amorim (2017), são anomalias térmicas com dimensões horizontais, verticais e temporais. Esses autores ressaltam ainda que suas características dependem da natureza da cidade, como o seu tamanho, densidade de construções, uso do solo, das atividades antrópicas e das influências externas, como o clima, tempo, estações, condição sinótica, relevo e vegetação. Adicionalmente, Coltri et al. (2008) evidenciaram que as mudanças no uso e cobertura da terra do entorno da cidade, como as plantações de culturas, delineadas pela sazonalidade da safra, podem influenciar na formação e intensidade da ICU. Nesta lógica, a presença de vegetação na cidade ou no entorno urbano atua em prol da mitigação dos efeitos das ICUs, por diminuir as temperaturas do ar circundante pela evapotranspiração (Coltri et al., 2008).

As ICUs ganharam notoriedade no último século, constituindo-se como uma área de grande interesse dos pesquisadores, por influenciar diretamente o cotidiano dos cidadãos. Contudo, nota-se uma prevalência de estudos em grandes centros urbanos (You et al., 2021), especialmente em regiões de clima temperado (Kadhim-Abid et al. 2019). Logo, há uma lacuna de estudos em regiões tropicais e subtropicais, capazes de sugerir medidas de mitigação dos impactos climáticos, além da conscientização das populações vulneráveis.

No presente trabalho, a cidade de Indaiatuba, interior de São Paulo (SP), foi utilizada como estudo de caso. Correlacionou-se variáveis que caracterizam a qualidade de vida dos moradores, o uso do solo e a magnitude das ICUs. Nos aspectos socioeconômicos, foram utilizadas informações do Indicador de Nível Socioeconômico (INSE -SAEB). Em relação aos aspectos climáticos, foram utilizados os dados de temperatura do ano de 2022 obtidos através de sensores fixos instalados na área de estudo (Zezzo et al., 2024). Para os aspectos ambientais, utilizou-se as imagens do satélite Sentinel 2, agregado aos dados do MapBiomas.

Nesse contexto, objetivou-se a realização de uma análise multifatorial da incidência e magnitude das ICUs no município de Indaiatuba (SP), mapeando e investigando o fenômeno em relação aos aspectos socioeconômicos, climáticos e ambientais. A hipótese é de que há uma relação entre ocorrência e magnitude da ICU, índice de vegetação e a condição socioeconômica de uma dada região, propiciando maior vulnerabilidade.

METODOLOGIA

O município de Indaiatuba é categorizado na hierarquia urbana como Centro Subregional A (3A), integra a Região Metropolitana de Campinas (IBGE, 2018) e possui um total de 255.748 habitantes em uma extensão territorial de 311.545km² (IBGE, 2018). A área urbanizada é de 74,36 km², resultando em uma densidade demográfica de 820,90 hab/km² e

possui PIB per capita de R\$87.525,86, onde o salário médio mensal da população foi de 3,4 salários mínimos (IBGE 2021). Nesse contexto, mais de 28,1% dos domicílios possuem renda de até meio salário mínimo, resultado da taxa de 37,38% de pessoas ocupadas (IBGE, 2021).

O clima do município é classificado como Cwa, tropical de altitude com invernos secos, de acordo com o sistema de Köppen. Segundo dados do Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas (CIIAGRO), a média de temperatura anual atinge 22,5°C, sendo fevereiro o mês mais quente, com temperaturas que ultrapassam os 25°C de média. O mês de julho, é reconhecidamente o mais frio, com temperaturas médias abaixo dos 15°C. No que se refere a precipitação, a média anual é de 1400mm, em que os meses de inverno são os mais secos, com média de 40mm, enquanto que os meses de verão são os mais úmidos, com média de chuvas de 260 mm (CIIAGRO, 2022).

Para a análise multifatorial das ICUs de Indaiatuba, escolheu-se os seguintes fatores: índice de vegetação (Coltri et al., 2008), índice socioeconômico (Confalonieri, 2015) e magnitude das ICUs do município (Zezzo et al., 2024).

Em relação ao índice de vegetação, foram obtidas imagens dos dias 23 de fevereiro de 2021 e 23 de julho de 2021 do satélite Sentinel 2, que foram processadas no software QGIS, calculando-se o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) para ambas as datas, através da equação $(NIR-R)/(NIR+R)$. Além disso, foi realizado o mapeamento do uso e cobertura da área de estudo, por meio da coleta de imagens do projeto MapBiomas para o ano de 2021, inserindo a camada raster no softwares QGIS e colorindo-a.

Já para o índice socioeconômico, foram captados os dados acerca do Indicador de Nível Socioeconômico (INSE) de 2021, disponível por meio do site do Governo Federal do Brasil. Este indicador foi criado pelo governo seguindo uma determinada metodologia que contempla as informações do Sistema de Avaliação da Educação Básica (SAEB), mais especificamente a Avaliação Nacional da Educação Básica (Aneb) e a Prova Brasil, além do Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM). Tais avaliações possuem questionários referentes à renda familiar, ao nível de escolarização dos responsáveis, e à posse de bens e contratação de serviços de empregados domésticos pela família dos estudantes, como informado na Nota Teórica disponibilizada pelo Ministério da Educação. Este indicador criou níveis de acordo com a condição socioeconômica de cada família, variando de 1 (menor nível socioeconômico) a 7 (maior nível socioeconômico).

Posterior a coleta dos dados do índice socioeconômico, foram recortadas as informações que se referem ao município estudado. Essas informações foram processadas por meio de tabelas e inseridas no software QGIS, criando o SHP com a simbologia categorizada,

evidenciando por intensidade de cor os níveis estratigráficos das escolas, o que permitiu identificar as condições socioeconômicas das famílias residentes do município.

Para as ICUs, foram utilizados parte dos dados da tese de doutorado da aluna do EHCT-UNICAMP, Larissa Vieira Zezzo, obtidos através de sensores fixos de temperatura instalados em pontos estratégicos do município, a partir dos quais avaliou-se a presença e magnitude das ICUs em 2022. Mais detalhes sobre os dados podem ser encontrados em Zezzo et al. (2024)⁵. No software QGIS foi inserido o SHP contendo as coordenadas geográficas dos sensores e as magnitudes das ICUs observadas na estação chuvosa (fevereiro) e na estação seca (julho), permitindo visualizar a distribuição desse fenômeno no município.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir do processamento dos dados foi possível analisar os aspectos socioeconômicos e ambientais da distribuição das ICUs, considerando especialmente a cobertura vegetal do município de Indaiatuba-SP. Com isso, observou-se que o maior índice de vegetação foi de 0,92 nos locais em que ocorre a presença de florestas urbanas, principalmente em áreas de mata nativa ou inserida por reflorestamento. A localização de vegetação densa é predominantemente no entorno da cidade, uma vez que Indaiatuba é caracterizada como uma cidade de médio porte e apresenta intensa instalação de aparatos urbanos no centro.

No centro da cidade, área desprovida de vegetação, o NDVI está próximo de 0,08. Ainda nesse contexto, o território estudado conta com a forte presença de atividades agropecuárias, no que tange pastagens ou a agricultura, sublinhando um NDVI próximo de 0,8. Além disso, evidenciou-se que o índice de vegetação no município é representativo do uso e ocupação do solo, podendo variar de acordo com o período da cultura plantada. O NDVI calculado para a estação chuvosa (fevereiro) foi maior do que aquele calculado para a estação seca (julho), variando até 0,8 a mais, destacando cenários distintos que exercem influências sobre as ICUs na área de estudo, assim como na organização do espaço geográfico.

Partindo dessa perspectiva, compreende-se que os sensores que estimaram alta magnitude para as ICUs na estação seca (julho), foram os sensores instalados no centro da cidade. Esses sensores estão localizados em locais densamente urbanizados, com o NDVI variando de 0,09 a 0,2 para ambos os meses calculados. Para a estação chuvosa (fevereiro), os mesmos sensores apresentaram uma magnitude média da ICU, demonstrando que há relação

⁵ Larissa Vieira Zezzo. CIÊNCIA, EDUCAÇÃO E DIVULGAÇÃO: A IMPORTÂNCIA DE ESTUDAR E SABER COMUNICAR TEMAS CLIMÁTICOS A SOCIEDADE. Início: 2019. Tese (Doutorado em Ensino e História de Ciências da Terra) - Universidade Estadual de Campinas.

da sazonalidade com a formação e intensidade da ICU (Zezzo et al., 2024). Logo, em meses secos, quando há menos área verde e maior estabilidade atmosférica, as ICUs destacam maiores intensidades, enquanto que em períodos chuvosos, há maior área verde e menor estabilidade atmosférica, diminuindo a intensidade do fenômeno. Nota-se aqui a relação entre menor quantidade de área verde e o aumento da amplitude térmica. Outrossim, ve-se que o único sensor que apresenta baixa magnitude para as ICUs em ambos os períodos deve-se a presença de uma área florestada no seu entorno, que possui NDVI de 0,7 na estação seca e 0,9 na estação chuvosa, ou seja, a presença de vegetação densa é um importante fator para a atenuação das ICUs.

Constatou-se também que, embora todas as escolas que compõem o índice sejam classificadas como urbanas, algumas delas estão afastadas do centro da cidade, dentre estas é possível constatar os níveis 4, 5 e 6. O nível 4 do SAEB é o mais baixo encontrado na área de estudo (diz respeito a presença de bens elementares na residência da família, renda familiar entre 1 ou dois salários mínimos, não há empregada mensalista e os responsáveis concluíram o fundamental e podem ou não ter concluído o ensino médio). Este nível foi verificado em apenas 1 escola, que está situada há 18 minutos de carro do centro ou 1 hora de transporte público, ou seja, pode-se compreender que além da distância física, existe a distância social do centro da cidade para os seus estudantes.

Os níveis 5 e 6 do SAEB, foram aqueles que mais observaram-se nas escolas classificadas (TABELA 1). A grande diferença entre esses índices está na contratação de empregada mensalista e conclusão de graduação dos responsáveis para o nível 6, enquanto o nível 5 não possui empregada mensalista e os responsáveis não possuem graduação (Ministério da Educação, 2021). Próximos aos sensores que registraram alta magnitude de ICUs estão situadas as escolas que possuem níveis 6 e 7 (FIGURA 1).

TABELA 1 - Localização do Indicador de Nível Socioeconômico (INSE) do SAEB na área de estudo

Localização	Quantidade de Escolas	Níveis do SAEB			
		Nível 4	Nível 5	Nível 6	Nível 7
Centro urbano	39	0	18	19	2
Entorno do centro urbano	9	1	5	3	0

A presença de aparatos urbanos caracteriza a reorganização do espaço geográfico e culmina na alteração do balanço hídrico e energético (Amorim, 2010), resultando em maiores

magnitudes de ICUs no centro do município. Soma-se a esse contexto, a influência da sazonalidade climática, em razão da diferença de pluviosidade entre a estação chuvosa (fevereiro) e seca (julho) evidenciado pelo NDVI.

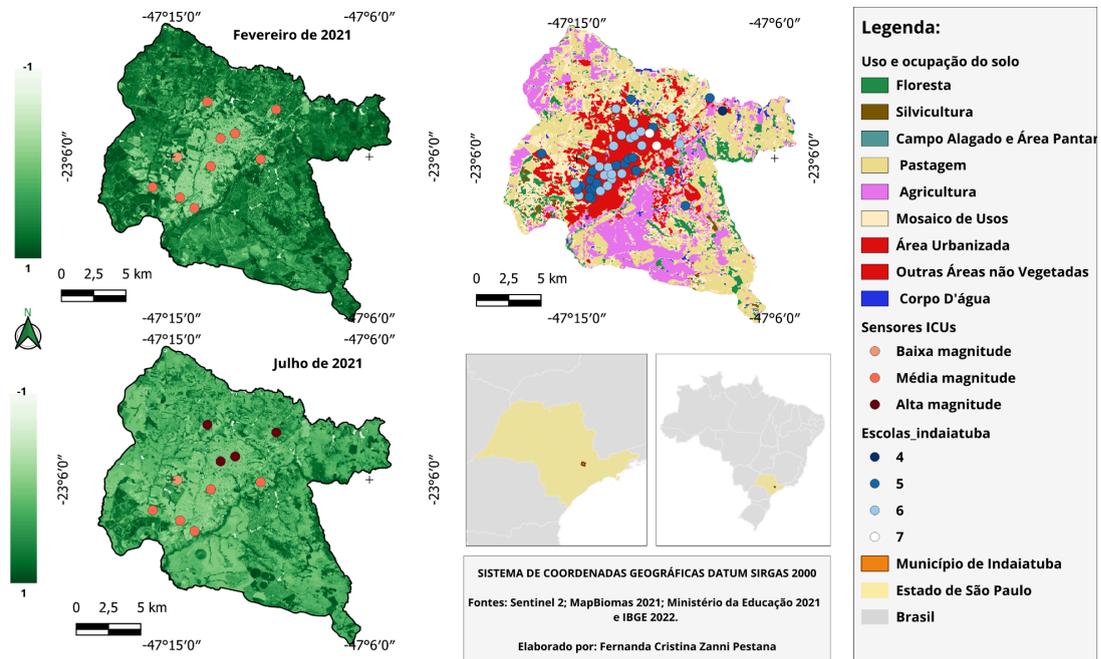


FIGURA 1: Coleção de mapas para o Município de Indaiatuba (SP)

Abarcando os diferentes usos do solo no município, que sublinham a relação entre elevados valores de magnitude de ICU em zonas altamente urbanizadas, nota-se a presença de vegetação como importante fator na regulação térmica, sendo a implantação de espaços verdes, uma das principais medidas de adaptação e mitigação das ICUs (Spyrou et al., 2023). Outrossim, são nesses locais com acentuada urbanização em que as escolas municipais e estaduais estão concentradas, destacando-se a ocorrência de escolas com índices socioeconômicos elevados atrelada às áreas com maiores magnitudes de ICU, especialmente no centro da cidade, diferindo da hipótese inicialmente proposta. Em contraponto, na área de estudo, escolas com menor índice socioeconômico, estão localizadas na periferia da cidade com magnitudes menores de ICU.

Vale ressaltar, nesse caso, que Indaiatuba é uma cidade de médio porte, com uma dinâmica diferente de cidades de grande porte. Indaiatuba, assim como no estudo de Coltri et al. (2008), apresenta uma considerável área verde (sejam culturas agrícolas ou florestas urbanas) em seus arredores, deixando essas áreas, com magnitudes de ICU menores, onde reside a população de menor renda. A mesma dinâmica não ocorre em cidades de grande porte, onde não há “arredores” com alto índice de área verde e sim grandes conglomerados urbanos. Nesses casos, a população de baixa renda, que vive nos arredores, acaba ficando

exposta a ICUs mais intensas. Ressalta-se aqui, portanto, a importância de estudos em cidades de diferentes portes, entendendo a dinâmica de cada uma delas.

Entende-se a partir desse estudo, que a densa urbanização e impermeabilização das áreas centrais do município representa um fator de influência mais significativo sobre a formação da ICU de muito forte magnitude, do que o tipo de material construtivo comumente atrelado a famílias com menor índice socioeconômico, uma vez que estas figuram em áreas periféricas e comumente mais vegetadas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Não foi verificada a presença de famílias com menor condição socioeconômica em áreas com maiores magnitudes de ICU, demonstrando que, em cidades de médio porte com arredores rurais, não há relação direta entre esses fatores, como apresentado em diversos estudos de clima urbano em grandes cidades. Entretanto, pode-se notar como a dinâmica de Indaiatuba (SP) é representativa das cidades tropicais de médio porte, onde o uso do solo associado à presença, ou não de vegetação, é intrínseco ao fenômeno de ICU, sublinhando a sua espacialização e magnitude.

A ICU é um fenômeno multifatorial, delineada pelas características da localização geográfica da cidade e o seu uso e ocupação, pelo seu entorno e extensão da área verde presente, influenciando de maneira distinta aqueles indivíduos que residem em sua proximidade. Entretanto, a organização do espaço em prol das desigualdades sistêmicas condiciona os moradores dos centros urbanos à incidência de ICU, estes que apresentam maiores índices socioeconômicos. Destaca-se neste cenário de ICU, o índice socioeconômico não foi determinante em condições de vulnerabilidade, todavia, em eventos extremos o poder aquisitivo é decisivo na capacidade de resiliência de indivíduos.

Por fim, ressalta-se a importância da mitigação de fenômenos climáticos e nota-se que a instalação de vegetação por meio do planejamento urbano é uma maneira de seguir com a dispersão da energia concentrada, atenuando a incidência das ICUs. Entretanto, constata-se a carência de estudos acerca do clima urbano de cidades de médio porte localizadas nos trópicos, especialmente aqueles que consideram a relação de fatores socioeconômicos.

Palavras-chave: Ilha de Calor Urbana; Clima Urbano; Condição Socioeconômica; Uso e Ocupação do solo.

REFERÊNCIAS

AMORIM, M. C. C. T.. Climatologia e gestão do espaço urbano. **Mercator**, v. 9, n. 1, p. 71-90, 2010.

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**, v. 38, 100918, 2021.

BRASIL. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (Inep). **Saeb 2021: Indicador de Nível Socioeconômico do Saeb 2021: nota técnica**. Brasília, DF: Inep, 2023.

CIIAGRO. Centro Integrado de Informações. Cartas Climáticas Básicas.

COLTRI, P. P.; FERREIRA, N. J.; FREITAS, S. DEMETRIO, V. A.. Changes in land cover and use affect the local and regional climate in Piracicaba, Brazil. **Journal of Urban and Environmental Engineering**, v. 2, n. 2, p. 68-74, 2008.

CONFALONIERI, U. E. C.. Variabilidade climática, vulnerabilidade social e saúde no Brasil. **Terra livre**, n. 20, p. 193-204, 2003.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

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**, 18(2), 417-424, 2019.

LEFEBVRE, H.. Da cidade à sociedade urbana. pág. 15 a 30. in: **A revolução urbana**/ Henri Lefebvre. Belo Horizonte: Ed. UFMG. 178p, 1999.

NETO, A. T.; AMORIM, M. C. C. T.. **Ilha de Calor Urbana e desconforto térmico: uma análise episódica em Cuiabá/MT**. Os desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento, v. 1, p. 1492-1506, 2017.

OKE, T. R.. **Boundary layer climates**. London: Methuen & Co. 372p, 1978.

SILVA, J. F.; FERREIRA, H. S.; SANTOS, M. O.. Considerações sobre os estudos em clima urbano. Revista **Geama**, p. 162-175, 2015.

SPYROU, G.; IOANNOU, B.; SOULIOTIS, M.; SAVVIDES, A.L.; FOKAIDES, P. A.. The adaptability of cities to climate change: evidence from cities' redesign towards mitigating the UHI effect. **Sustainability**, v. 15, n. 7, 6133p, 2023.

YOU, M.; LAI, R.; LIN, J.; ZHU, Z.. Quantitative Analysis of a Spatial Distribution and Driving Factors of the Urban Heat Island Effect: A Case Study of Fuzhou Central Area, China. **Int. J. Environ. Res. Public Health** 18, 13088, 2021.

ZEZZO, L.V.; COLTRI, P.P.; DUBREUIL, V.. Frequência e intensidade de ilhas de calor urbano em Indaiatuba (São Paulo). In: **Cidades, clima e vegetação: modelagem e políticas públicas ambientais**. Org: Amorim, M.C.C.T & Dubreuil, V. Porto Alegre (RS). **TotalBooks**, 105-123, 2024.