



SENSORIAMENTO REMOTO PARA ANÁLISE DE ILHAS DE CALOR E FRIO NO MUNICÍPIO DE CURITIBA

Janaina Casado Rodrigues da Silva¹

Maria Clara dos Santos Lopes²

Julio Cesar Angelo Borges³

Anderson Paulo Rudke⁴

Leila Droprinchinski Martins⁵

Jorge Alberto Martins⁶

Poluição Atmosférica

Resumo

Esse trabalho tem como objetivo analisar ilhas de Calor e Frio Urbano e sua relação com os padrões da paisagem urbana no Município de Curitiba ao longo dos últimos 30 anos, durante a estação do inverno dos anos de 1989 e 2019. Para isto, utilizou-se os dados obtidos pelos satélites *Landsat 5 e 8*, processados no Software Qgis, identificados pela órbita/ponto 220/078 em dois anos diferentes no período do inverno. Para a estimativa da Temperatura da Superfície Terrestre (TST) foi utilizada a banda 6, para o Landsat 5 e banda 10 para o Landsat 8, a qual foi convertida para temperatura de brilho. Para a avaliação da cobertura do solo foi utilizada a classificação feita pelo Projeto Mapbiomas. Após a transformação da emissividade em temperatura de superfície terrestre, esses valores foram convertidos em graus Celsius. O mapa de uso e ocupação do solo apresenta uma redução de áreas de lavouras e um aumento na área urbanizadas. O município de Curitiba possui diversas áreas verdes dentro da área urbana que gerou pequenas ilhas de frio em relação a áreas onde não havia presença de áreas verdes.

Palavras-chave: Landsat; clima urbano; temperatura.

¹Aluna de Mestrado, Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Londrina, Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, janainnacasado@gmail.com

²Aluna de Graduação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Londrina, Departamento de Engenharia Ambiental, mariiac.slopes@gmail.com.

³Aluno de Mestrado, Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Londrina, Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, julioborges@alunos.utfpr.edu.br.

⁴Aluno de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais-UFMG, rudke@alunos.utfpr.edu.br

⁵Prof. Dr. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Londrina – Departamento de química, Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, leilamartins@utfpr.edu.br.

⁶Prof. Dr. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Londrina – Departamento de física, Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, jmartins@utfpr.edu.br.



INTRODUÇÃO

O aumento da população residente em áreas urbanas tem sido observado no mundo todo. Atualmente, cerca de 55% da população mundial vive em áreas urbanas e a expectativa é que alcance 70% em 2050, segundo a Organização das Nações Unidas (ONU, 2021). No Brasil, o cenário não é diferente e esse aumento tem sido acompanhado pela falta de planejamento urbano e pelo rápido crescimento da maioria das cidades. A urbanização em grandes centros urbanos tem modificado as superfícies naturais, gerando diversos efeitos adversos, dentre os quais cita-se a Ilha de Calor Urbano (ICU) (OKE, 1973, FREITAS *et al.*, 2007, SOBRAL, 2005).

A ilha de calor urbana é um dos efeitos climatológicos mais estudados pelo homem, ocorrendo principalmente em cidades com grau elevado de urbanização, sendo que essas têm superfícies que tendem a liberar grandes quantidades de calor (OKE, 1973). Por outro lado, o efeito inverso, Ilha de Frio Urbano (IFU), pode ser visto em regiões de áreas verdes e corpos hídricos, onde as temperaturas tendem a ser mais amenas que regiões urbanizadas (ARRAU; PEÑA, 2019).

Os efeitos da ICU, principalmente o aumento de temperatura, podem ser minimizados por meio da inserção de sistemas ambientais (parques, lagos, áreas verdes, telhados verdes, etc.) na área urbana. Esses sistemas também são formas importantes de mitigação de outros efeitos decorrentes do processo de urbanização (BEAUDOIN; GOSSELIN, 2016; MILOJEVIC *et al.*, 2016). Assim, determinar a magnitude da ICU e conhecer o estado atual das IFU e sub ICU existentes são fundamentais para planejar intervenções, visando cidades que sejam mais resilientes (COLUNGA *et al.*, 2015).

Dentre os métodos utilizados para caracterizar as ICU e IFU cita-se aqueles obtidos por meio do sensoriamento remoto. Esse tipo de método permite caracterizar diversas regiões sem a necessidade de sensores de temperatura em superfície, permitindo a caracterização de diversas áreas, em especial aquelas que não dispõem de redes de monitoramento meteorológico. Neste contexto, cita-se a série de satélites Landsat, que tem se tornado uma importante ferramenta no estudo da variação térmica no ambiente urbano (FIALHO, 2012).

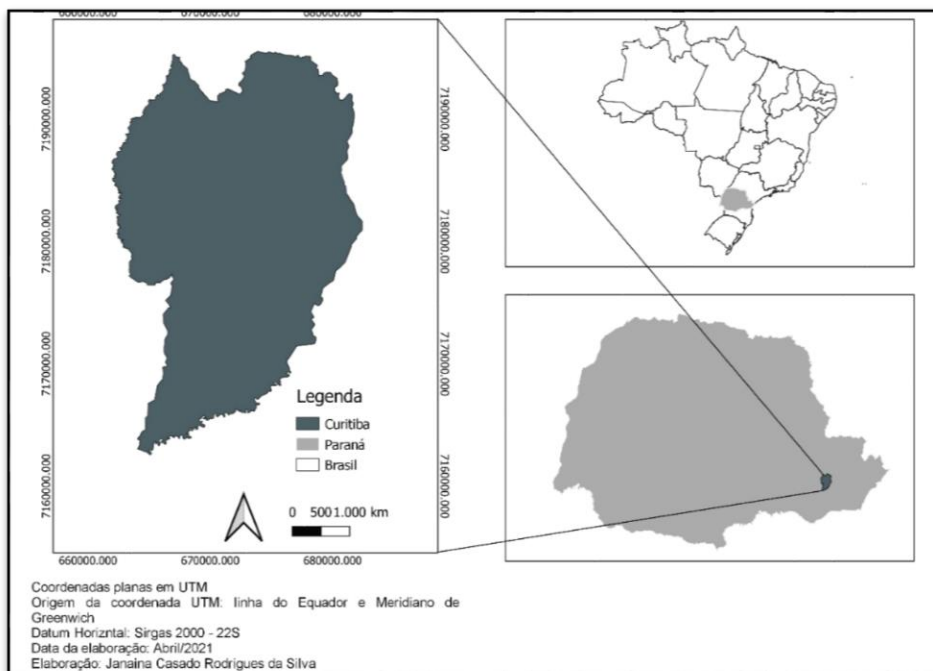
Existem diversos estudos em áreas urbanas com ICU (e.g., Monteiro et al., 2021; Goncalves et al., 2018, Gamarra; Corrêa; Targino 2014). Monteiro *et al.* (2021), por exemplo, utilizaram imagens de satélite e encontraram valores com diferenças substanciais entre o efeito ICU medidos nos períodos diurnos e noturnos. A intensidade de ICU medida no estudo de Gonçalves *et al.* (2018) seguiu as tendências gerais apresentadas em estudos semelhantes, que indicam um maior efeito de ICU em áreas mais densamente urbanizadas. Por outro lado, ainda segundo os autores, o efeito de IFU apresentou maiores valores em espaços verdes, tal como esperado. Gamarra, Corrêa e Targino (2014) utilizaram o sensor MODIS na caracterização da ICU na cidade de Londrina. Embora existam diversos estudos de ICU, ainda são poucos os estudos que analisaram o efeito de IFU relacionadas as mudanças do uso e ocupação do solo.

Dessa forma, o presente trabalho propõe analisar, por sensoriamento remoto, as ICU e IFU e sua relação com os padrões da paisagem urbana no Município de Curitiba e suas mudanças ao longo dos últimos 30 anos, durante a estação do inverno dos anos de 1989 e 2019. Nos últimos trinta anos, o município apresentou expressivo aumento da área urbana, que ocorreu em detrimento da supressão de plantações de soja e de outras lavouras.

METODOLOGIA

A capital do estado do Paraná, Curitiba, está localizada nas coordenadas 25° 25' 47" S 49° 16' 19" O (Figura 1), ocupando uma área de 434,892 Km² e possuindo uma população de 1.751.907 pessoas (IBGE, 2021).

Figura 01 - Mapa de localização do Município de Curitiba – PR



Após a escolha da área de estudo, os dados obtidos através dos sensores *Thematic Mapper* (TM) e *Thermal Infrared Sensor* (TIRS) acoplados aos satélites Landsat 5 e 8, respectivamente, foram processados no Software Qgis. As cenas utilizadas são identificadas pela órbita/ponto 220/078 em dois anos diferentes no período do inverno (22/09/1989 as 12:37:04) e (23/07/2019 as 13:11:19). Para a estimativa da Temperatura da Superfície Terrestre (TST) foram utilizados dados do canal infravermelho termal - banda 6 para o Landsat 5 e banda 10 para o Landsat 8, que possuem resoluções espaciais de 120 e 100 metros, respectivamente. Esses dados foram então convertidos para temperatura de brilho (USGS, 2021).

Para a avaliação da cobertura do solo foi utilizada a classificação feita pelo Projeto Mapbiomas (2021) referentes aos anos de 1989 e 2019, limite da área urbana do Município de Curitiba, vetorizado a partir da imagem de satélite.

Os valores de emissividade (e) foram gerados a partir do mapa de cobertura do solo, por meio da reclassificação, aplicando a cada classe os valores apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Classes e seus valores de emissividade.

Superfície Terrestre	Emissividade (e)
Formação florestal	0,98
Floresta plantada	0,98
Pastagem	0,97
Mosaico de agricultura	0,97
Urbano	0,94
Outras áreas não vegetadas	0,93
Rios, lago e oceano	0,98
Soja	0,97
Outras lavouras	0,97

Os dados da temperatura de brilho e emissividade foram utilizados para o cálculo da temperatura de superfície em Kelvin, pela Equação 1.

$$T = \frac{T_b}{1 + \left(\frac{\lambda * T_b}{c_2}\right) * \ln(e)} \quad (1)$$

Onde: T = temperatura de superfície (em Kelvin), T_b = temperatura de brilho, λ = comprimento de onda do brilho emitido (para a banda 6 do Landsat 5 corresponde a 14,5 μm ; para a banda 8 do Landsat 10 corresponde a 10,8 μm) e $c_2 = 1488 \mu\text{m K}$ (constante de Planck multiplicada pela razão entre a velocidade da luz e a constante de Boltzmann) e o termo e é a emissividade.

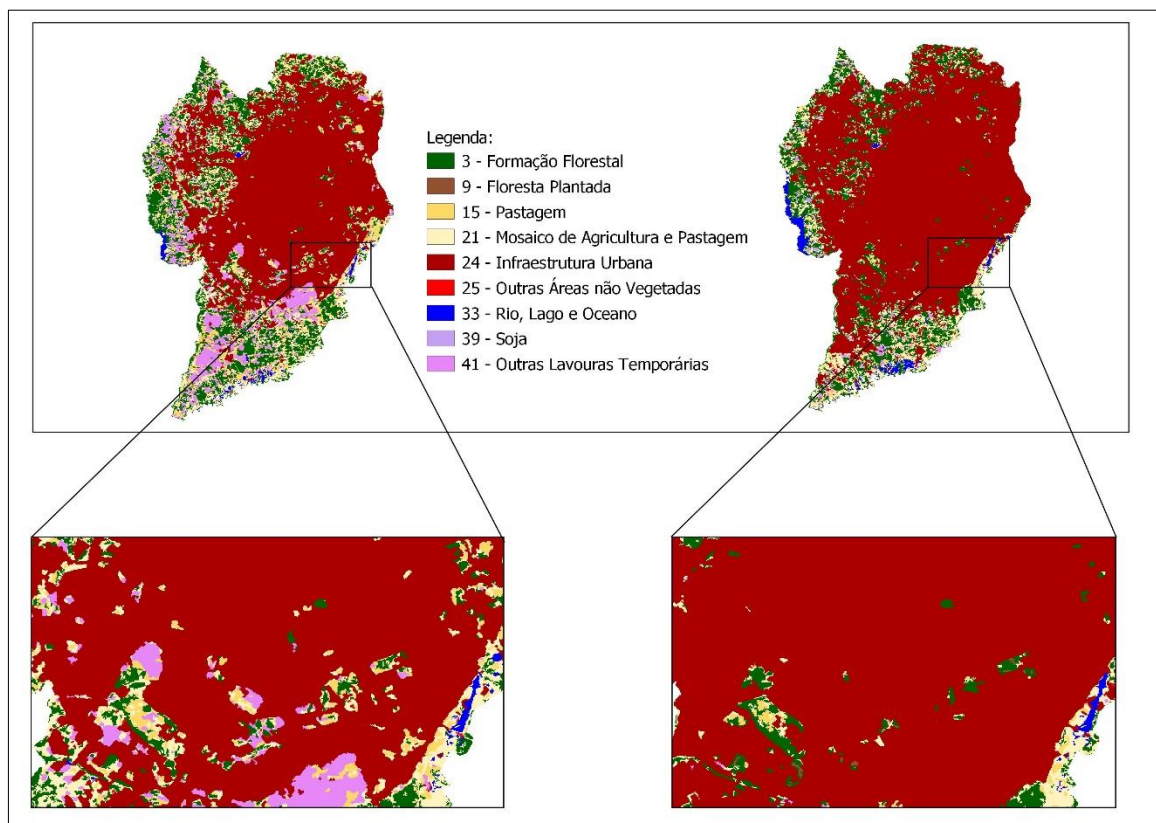
Após a transformação da emissividade em temperatura de superfície terrestre, esses valores foram convertidos em graus Celsius.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta os mapas de uso e ocupação do solo do município de Curitiba para os anos de 1989 e 2019, através do qual é possível observar um aumento considerável na área urbanizada do município (classificada como: outras áreas não vegetadas pelo Mapbiomas, 2021).



Figura 02 - Mapa de uso e ocupação do solo do município de Curitiba para os anos de 1989 (esquerda) e 2019 (direita).



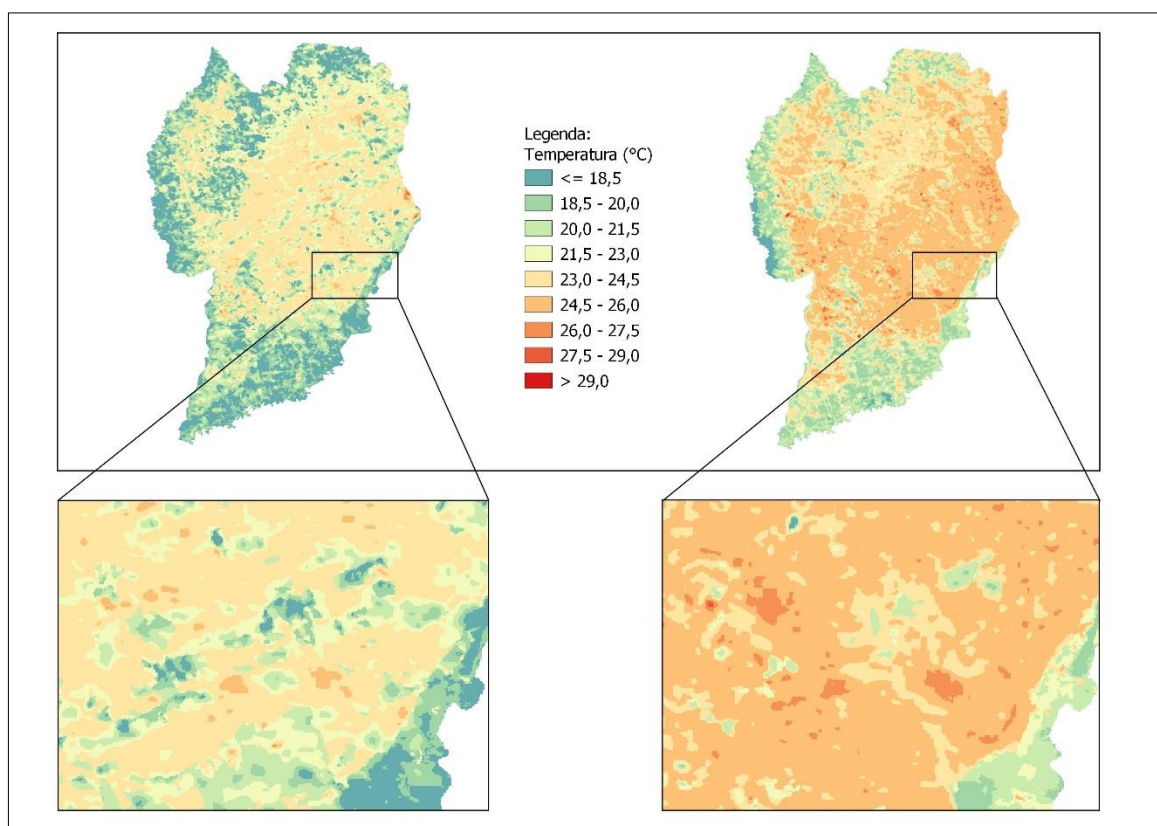
A Figura 3 apresenta os mapas de temperatura de superfície, onde pode-se observar, que na área mais urbanizada (área em vermelho na Figura 2) ocorreu o efeito ilha de calor urbano, apresentando as temperaturas mais elevadas que as regiões onde há a presença de outros tipos de uso do solo.

Na Figura 3 também é possível se observar que o ano de 2019 apresentou um inverno atípico e diferenciado em relação a 1989. De forma que o ano de 2019 apresentou temperaturas muito baixas no início do inverno, com posterior aumento significativo da temperatura no final o inverno desse mesmo ano (32,9°C) no dia 13 de setembro, sendo assim o dia mais quente do inverno de 2019 (UOL, 2019).

Na Figura 3, observa-se a presença de ilhas de frio em ambos os anos, porém com

padrões diferenciados em razão, provavelmente, das mudanças do uso solo ocorridas nos últimos 30 anos. Por exemplo, na área do zoom no ano de 2019, o local tem uma área verde de IFU (tons mais verdes e temperaturas menores da ordem de 2 a 3°C em relação ao entorno), e que influenciou diretamente na temperatura da região.

Figura 3 - Mapa de temperatura de superfície do Município de Curitiba para os anos de 1989 (esquerda) e 2019 (direita).



CONCLUSÕES

Os resultados indicaram, através do tratamento de imagem do satélite Landsat 5 e 8 no canal infravermelho termal, que o município de Curitiba possui diversas áreas verdes dentro da área urbana que gerou pequenas ilhas de frio em relação ao entorno, onde não havia



presença de áreas verdes. Nas áreas mais urbanas foi possível observar, em todos os anos analisados, ilhas de calor formadas pela alta concentração de casas, prédios, amenidades, entre outras construções. O padrão de uso do solo e, conseqüentemente, das IFU e ICU mudaram ao longo dos 30 anos com redução das áreas não urbanizadas do município em 1989 comparada a 2019.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPQ, processo 436466/2018-0.

REFERÊNCIAS

- ARRAU, Camilo Pérez; PEÑA, Marco A. **The Urban Heat Island (UHI), Effect.** [s. l.], 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/c2017-0-02872-0>.
- BEAUDOIN, Mélanie; GOSSELIN, Pierre. An effective public health program to reduce urban heat islands in Québec, Canada Special report Suggested citation. **Rev Panam Salud Publica Pan American Journal of Public Health**, [s. l.], v. 40, n. 3, p. 160–166, 2016. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85006421098&partnerID=40&md5=67c02fdb2053a25a2fbb8f218d41e59>
- Coleções Mapbiomas.** [s. l.], [s. d.]. Disponível em: https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama_set_language=pt-BR.
- COLUNGA, María L. *et al.* The role of urban vegetation in temperature and heat island effects in Querétaro city, Mexico. **Atmosfera**, [s. l.], v. 28, n. 3, p. 205–218, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.20937/ATM.2015.28.03.05>
- FIALHO, Edson Soares. Ilha de calor: reflexões acerca de um conceito. **Revista ACTA Geográfica**, [s. l.], p. 61–76, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.5654/actageo2012.0002.0004>
- FREITAS, Edmilson D. *et al.* Interactions of an urban heat island and sea-breeze circulations during winter over the metropolitan area of São Paulo, Brazil. **Boundary-Layer Meteorology**, [s. l.], v. 122, n. 1, p. 43–65, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10546-006-9091-3>
- GAMARRA, Nancy Laura Rios; CORRÊA, Marcelo de Paula; TARGINO, Admir Créso de Lima. Utilização de sensoriamento remoto em análises de albedo e temperatura de superfície em londrina – pr: Contribuições para estudos de ilha de calor urbana. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [s. l.], v. 29, n. 4, p. 537–550, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0102-778620130671>
- GONÇALVES, Artur *et al.* Urban cold and Heat Island in the City of Bragança (Portugal). **Climate**, [s. l.], v. 6, n. 3, p. 1–14, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/cli6030070>
- IBGE. **Curitiba.** [s. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/curitiba/panorama>.
- MAPBIOMAS. **COLEÇÕES MAPBIOMAS.** [s. l.], 2021. Disponível em: https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama_set_language=pt-BR.
- MILOJEVIC, Ai *et al.* Methods to estimate acclimatization to urban heat island effects on heat-

- and cold-related mortality. **Environmental Health Perspectives**, [S. l.], v. 124, n. 7, p. 1016–1022, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1289/ehp.1510109>
- MONTEIRO, Felipe Ferreira *et al.* Assessment of Urban Heat Islands in Brazil based on MODIS remote sensing data. **Urban Climate**, [S. l.], v. 35, n. November 2020, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100726>
- OKE, T. R. City size and the urban heat island. **Atmospheric Environment (1967)**, [S. l.], v. 7, n. 8, p. 769–779, 1973. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0004-6981\(73\)90140-6](https://doi.org/10.1016/0004-6981(73)90140-6)
- SOBRAL, Helena Ribeiro. Heat island in São Paulo, Brazil: Effects on health. **Critical Public Health**, [S. l.], v. 15, n. 2, p. 147–156, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/09581590500151756>
- UNIDAS, Organização das Nações. **ONU prevê que cidades abriguem 70% da população mundial até 2050**. [s. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2019/02/1660701>.
- UOL. **Curitiba tem o dia mais quente do inverno. Veja quanto os termômetros marcaram**. [s. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://tribunapr.uol.com.br/noticias/curitiba-regiao/simepar-registra-dia-mais-quente-do-inverno-em-curitiba-veja-quanto-foi/>. Acesso em: 20 maio. 2021.
- USGS - UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Global Visualization Viewer - Glovis**. [s. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://glovis.usgs.gov/>. Acesso em: 28 abr. 2021.