

A importância de um instrumento local no combate às ilhas de calor: diretrizes para reorientar o uso do solo *

La importancia de un instrumento local en la lucha contra las islas de calor: directrices para redirigir el uso del suelo

The importance of a local instrument in combating heat islands: guidelines for redirecting land use

HELENA PUERES ROLDÃO

Engenheira Ambiental, Mestra em Ciências Ambientais

Servidora Pública Municipal

Prefeitura Municipal de São Francisco do Sul (São Francisco do Sul, Brasil)

helena.pures@gmail.com

ORCID: [0000-0003-2151-840X](https://orcid.org/0000-0003-2151-840X)

EDUARDO AUGUSTO WERNECK RIBEIRO

Geógrafo, Doutor em Geografia

Docente

Instituto Federal Catarinense (São Francisco do Sul, Brasil)

eduardo.ribeiro@ifc.edu.br

ORCID: [0000-0003-3313-6783](https://orcid.org/0000-0003-3313-6783)

MARIO FRANCISCO LEAL DE QUADRO

Meteorologista, Doutor em Meteorologia

Docente

Instituto Federal de Santa Catarina (Florianópolis, Brasil)

mquadro@ifsc.edu.br

ORCID: [0000-0002-5904-5890](https://orcid.org/0000-0002-5904-5890)

Recibido/Received: 15-09-2023; Aceptado/Accepted: 13-03-2024

Cómo citar/How to cite: Roldão, Helena Pueres; Werneck Ribeiro, Eduardo Augusto & Leal de Quadro, Mario Francisco (2024): “A importância de um instrumento local no combate às ilhas de calor: diretrizes para reorientar o uso do solo”, *Ciudades*, 27, pp. 247-267. DOI: <https://doi.org/10.24197/ciudades.27.2024.247-267>

Artículo de acceso abierto distribuido bajo una [Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional \(CC-BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). / Open access article under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC-BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Resumo: Este artigo discute o uso de imagens térmicas e mapas de uso do solo para combater ilhas de calor e promover um ambiente urbano sustentável em cidades pequenas, usando São Francisco do Sul,

* Este artigo é resultado da investigação realizada no curso de Pós-Graduação Mestrado em Tecnologia e Ambiente do Instituto Federal Catarinense (IFC).

Brasil, como estudo de caso. Os resultados mostram diferenças de aquecimento em diferentes partes da cidade, sublinhando a necessidade de considerar o clima no planejamento urbano para promover a sustentabilidade e minimizar o desconforto térmico. O estudo sugere que estes princípios podem guiar o licenciamento ambiental para reduzir áreas impermeabilizadas e evitar o surgimento de ilhas de calor.

Palavras chave: planejamento urbano, ilhas de calor, uso do solo, sustentabilidade ambiental.

Resumen: Este artículo discute el uso de imágenes térmicas y mapas de uso del suelo para combatir las islas de calor y promover un ambiente urbano sostenible en ciudades pequeñas, utilizando São Francisco do Sul, Brasil, como caso de estudio. Los resultados muestran diferencias de calentamiento en diferentes partes de la ciudad, subrayando la necesidad de considerar el clima en la planificación urbana para promover la sostenibilidad y minimizar la incomodidad térmica. El estudio sugiere que estos principios pueden guiar la licencia ambiental para reducir las áreas impermeabilizadas y evitar la aparición de islas de calor.

Palabras clave: planificación urbana, islas de calor, uso del suelo, sostenibilidad ambiental.

Abstract: This article discusses the use of thermal imaging and land use maps to combat heat islands and promote a sustainable urban environment in small cities, using São Francisco do Sul, Brazil, as a case study. The results show heating differences in different parts of the city, underlining the need to consider climate in urban planning to promote sustainability and minimize thermal discomfort. The study suggests that these principles can guide environmental licensing to reduce impermeable areas and prevent the emergence of heat islands.

Keywords: urban planning, heat islands, land use, environmental sustainability.

1. INTRODUÇÃO

O planejamento urbano é uma ferramenta essencial para a promoção de cidades saudáveis, resilientes e sustentáveis (Orsi, 2023). Esta necessidade é relevante tanto para áreas metropolitanas quanto para áreas rurais dentro dos municípios. Incorporar princípios climáticos no planejamento, incluindo a gestão do uso do solo e a implementação de medidas de mitigação para minimizar o impacto das ilhas de calor, é um desafio emergente no planejamento municipal.

A ilha de calor é um fenômeno que se refere a áreas urbanas que apresentam temperaturas mais elevadas que as áreas rurais circundantes (Oke, 2002). O estudo das ilhas de calor é essencial para entender como as mudanças na ocupação e uso do solo, decorrentes da atividade humana, afetam a temperatura local. Este fenômeno tem implicações significativas para o conforto térmico, consumo de energia e saúde pública (Amorim, 2020; Teixeira & Amorim, 2018).

Por outro lado, o licenciamento ambiental é um instrumento de controle prévio ao início de atividades que possam causar algum impacto ambiental. Este processo inclui a análise das possíveis consequências ambientais de um projeto e a definição de medidas para prevenir ou minimizar esses impactos.

O estudo das ilhas de calor e o licenciamento ambiental estão conectados, pois é necessário considerar os impactos térmicos de um projeto. Isso implica

avaliar como os desenvolvimentos urbanos podem contribuir para as ilhas de calor e encontrar formas de mitigar esses impactos (Wang, 2022). Fenômenos como urbanização desordenada e crescimento populacional levam a mudanças climáticas e desequilíbrios globais (Makumbura, Samarasinghe & Rathnayake, 2022; Gotardo *et al.*, 2019). O uso de imagens térmicas e mapas de uso do solo no planejamento municipal é importante, já que as ilhas de calor podem ocorrer em áreas urbanas e rurais (Ferreira, Pereira & Labaki, 2020).

Teixeira & Pessoa (2021) destacam a necessidade de adaptação climática no planejamento das cidades brasileiras. Degirmenci *et al.* (2021) apontam estratégias globais contra ilhas de calor urbano e a importância de incorporá-las no planejamento municipal. As soluções, alinhadas com a urgência do problema, podem envolver tecnologias de sensoriamento remoto e técnicas computacionais para analisar os fatores que influenciam o fenômeno, como sugerido por Liu, Huang & Yang (2021).

A abordagem das ilhas de calor requer estudos de cidades pequenas e médias em planejamento e clima urbano. Sua relevância se aplica ao licenciamento ambiental, responsabilidade municipal no Brasil, conforme leis federais e a resolução Conselho Estadual de Meio Ambiente de Santa Catarina (Consema) nº 99/2017. A gestão deve se adaptar ao tamanho do município, incorporando tecnologias e metodologias, enfatizando a importância das leis de uso do solo e seu impacto ambiental, aproximando a sociedade do debate sobre mudanças climáticas.

Di Vita (2020) enfatiza a relevância das cidades médias na Europa, complementando metrópoles e áreas rurais. O zoneamento evita conflitos de uso do solo, promovendo segurança e sustentabilidade. Políticas orientam o desenvolvimento urbano, com zoneamento e planos diretores regulando o uso do solo. Llop *et al.* (2019), por sua vez, apontam a importância das cidades pequenas, com sua escala humana e governança local, na implementação da Agenda 2030. Estes autores, enfatizam a necessidade de gestão urbana participativa para enfrentar complexos desafios urbanos, como no caso as ilhas de calor, presentes tanto em cidades pequenas e médias quanto em grandes.

A gestão local pode amenizar ilhas de calor com construções ecológicas, mais vegetação e menos superfícies impermeáveis. A eficácia precisa de governos, empresas, comunidades e instituições de pesquisa, adaptando-se às necessidades locais. O licenciamento ambiental controla impactos nocivos e governos locais podem emitir decretos para alterações no uso do solo. A ação local é crucial para políticas climáticas, pois o uso do solo envolve várias jurisdições.

Os municípios desempenham um papel crucial na experimentação urbana e na promoção de práticas sustentáveis no planejamento urbano (Mukhtar-Landgren *et al.*, 2019). Estudos de Zhou *et al.* (2014) e Chen *et al.* (2006) destacam a relação entre as mudanças no uso da terra e as ilhas de calor urbanas,

ressaltando a necessidade de considerar o planejamento do uso da terra na mitigação das mudanças climáticas. Bulkeley & Broto (2012) e Eneqvist & Karvonen (2021) reforçam o papel essencial dos governos municipais em experimentar novas abordagens para ação climática e no fomento ao desenvolvimento urbano sustentável.

As estruturas municipais afetam a capacidade de iniciativas climáticas. Criar regulamentos para mudanças no uso do solo pode controlar impactos climáticos. A pesquisa de Ryan (2015) ressalta a vulnerabilidade das cidades às mudanças climáticas e a importância do papel municipal. Associar mudanças ao aumento de calor pode mitigar impactos, evidenciando a relevância do planejamento urbano sustentável.

Motivados pela omissão de pequenos municípios em pesquisas, analisamos a adaptação de políticas de mitigação da mudança climática usando geoprocessamento. No Brasil, onde 72 % da população vive em cidades de até 50 mil habitantes, tecnologia auxilia no planejamento. Este artigo traz uma metodologia que identifica ilhas de calor com imagens térmicas e mapas de uso do solo. Estudamos as causas dessas ilhas em São Francisco do Sul (Brasil), onde a urbanização elevou a temperatura. Propomos medidas para reduzir a temperatura e melhorar a vida urbana, apoiando a sustentabilidade ambiental.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Nesta seção, descreveremos os materiais e métodos utilizados em nosso estudo, começando por uma caracterização detalhada da área de estudo, a cidade de São Francisco do Sul. Em seguida, explicaremos como utilizamos imagens térmicas do Landsat e dados da plataforma Mapbiomas para analisar o uso e a ocupação do solo. Finalmente, discutiremos como elaboramos um documento de orientação para o licenciamento ambiental para o município de São Francisco do Sul, com base na legislação local e federal.

2.1. Caracterização da área

A área de estudo (Figura 1) refere-se à cidade de São Francisco do Sul, no estado de Santa Catarina, que possui uma área de aproximadamente 493,266 km² e uma população de 52.721 habitantes. A cidade é uma área de atividade portuária e turística que possui um clima subtropical com verões chuvosos e invernos secos e úmidos, com temperatura média anual variando entre 16 e 20 C e precipitação anual variando entre 1000 e 1500 mm.

A cidade é uma das mais antigas do Brasil, a ocupação inicial foi espanhola e datada em 1558 (Ibge, 2023). Suas praias e seu centro histórico exercem um grande atrativo turístico. A cidade também conta com um dos portos mais importantes do Brasil, o porto de São Francisco do Sul. O município tem um perfil diversificado, pois segundo o Ibge (2023), encontram-se atividades

econômicas vinculadas as pastagens, terras agrícolas, além das áreas de silvicultura, com registros para atividades industriais e comércio e serviços.

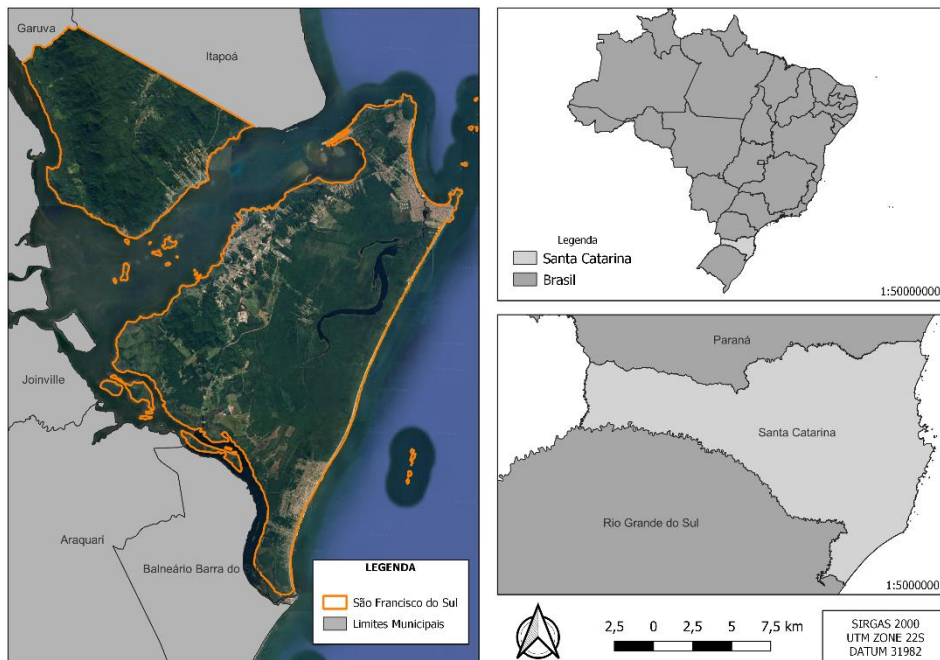


Figura 1: Localização da área de estudo. Fonte: Ibge (2023).

Para identificação das ilhas de calor no município de São Francisco do Sul, foram utilizadas quatro imagens termais Landsat no formato raster do tipo .geotiff nas datas de 9/7/1985, 6/3/1986, 15/1/2020 e 28/7/2021, conforme trabalho de Fialho (2012). As imagens Landsat estão disponibilizadas no site da United States Geological Survey (USGS, 2023). Para a geração dos mapas de temperatura da superfície, foram utilizadas as bandas 10 do Landsat-8 e a banda 6 do Landsat-5, ambas as bandas do canal espectral infravermelho termal, com uma resolução espacial de 100 metros e 120 metros, respectivamente. O tratamento da imagem termal foi realizado com o software QGIS (versão 3.22.5.) e o semi-automatic classification plugin (Congedo 2021).

A plataforma Mappiomas (Souza *et al.*, 2020) foi utilizada para as imagens de uso e ocupação do solo. Essa plataforma oferece um acervo de imagens raster geotiff, organizadas em mapas anuais de cobertura e uso da terra no Brasil desde 1985. Desenvolvida por uma rede colaborativa, utiliza processamento em nuvem e classificadores automatizados operados pelo Google Earth Engine. As imagens têm resolução espacial de 30 metros e generalização espacial que exclui áreas

menores que 0,5 hectares. A plataforma também fornece informações sobre validação e nomenclatura para classificação das imagens (Souza *et al.*, 2020).

Por fim, elaborou-se um documento de orientação para o licenciamento ambiental para o município de São Francisco do Sul a partir da revisão bibliográfica, dos critérios e orientações da Resolução do Conselho Estadual de Meio Ambiente do Estado de Santa Catarina (Consema) nº 99/2017 (Santa Catarina, 2017) e das leis federais nº 6.766/1979 e 12.187/2009. O documento considerou os seguintes critérios: cobertura vegetal na área do empreendimento, grau de interferência na paisagem natural, geração de poluentes atmosféricos e impactos no uso do solo.

2.2. Imagens Landsat

Usamos quatro imagens termais do Landsat do site da USGS (2023) para identificar ilhas de calor em São Francisco do Sul através de mapas de temperatura da superfície. As bandas 10 do Landsat-8 e 6 do Landsat-5 foram usadas, com resoluções de 100 metros e 120 metros, respectivamente. As datas foram: 6/3/1986, 15/1/2020, 9/7/1985 e 28/7/2021. A escolha das datas foi baseada em trabalhos anteriores (Bassani *et al.* 2022; Ferreira, Pereira & Labaki, 2020; Teixeira & Amorim, 2018).

As imagens foram tratadas com QGIS e o semi-automatic classification plugin. As datas foram escolhidas para representar duas estações no Hemisfério Sul ao longo de mais de 30 anos.

Após a identificação termal, analisamos as mudanças do uso e ocupação do solo. Essas mudanças afetam a erosão, a ciclagem da água, a ciclagem do carbono e a biodiversidade. Além disso, foram associadas às variações térmicas nas áreas urbanas, que podem chegar a mais de 16° C na mesma estação.

2.3. Imagens Plataforma MapBiomas

A plataforma MapBiomas (<https://brasil.mapbiomas.org/>) disponibiliza um acervo temporal de imagens raster geotiff já organizadas a partir de uma tipologia de mapas anuais de cobertura e uso da terra do Brasil (Souza *et al.*, 2020). Para transformar o formato raster em vetor, as tipologias foram agrupadas a partir dos códigos originais associados às classes usadas pelo MapBiomas. As macroclasses foram Florestal, Não Florestal, Silvicultura, Agropecuária, Área não vegetada, Corpo D'água e Urbano. Em seguida, uma segunda reclassificação foi realizada para verificar as mudanças de classes identificadas, criando uma tipologia da modificação do período analisado com os critérios de agrupamento aplicados. A Tabela 1 apresenta a reclassificação sugerida para as classes originais do solo e ocupação do MapBiomas.

Classe original do solo e ocupação MapBiomias (dado original)	Reclassificação sugerida (agrupamento das classes)
Formação florestal, mangue, restinga arborizada	Florestal
Afloramento rochoso, apicum, campo alagado ou área pantanosa	Não Florestal
Pastagem, mosaico de agricultura e pastagem, outras áreas de lavouras temporárias	Agropecuária
Praia, dunas e mineração, outras áreas não vegetadas	Área não vegetada
Rio, lago, oceano	Corpo D'água
Área urbana	Urbano
Floresta Plantada	Silvicultura

Tabela 1: Reclassificação das tipologias da cobertura do solo usada no MapBiomias. Fonte: Elaborado pelos autores.

A partir deste resultado, passou-se para uma segunda reclassificação. O objetivo desta etapa era verificar as mudanças de classes identificadas. A proposta desta segunda reclassificação foi criar uma tipologia da modificação do período analisado, com os critérios para o agrupamento aplicados apresentados na Tabela 2.

Classe	Transição identificada nos usos e ocupação
Inalterado	Uso mantido entre os anos de 1985 e 2020
Natural	Em 1985 eram classes não florestal, passou para a classe Florestal
Reflorestadas	Em 1985 eram classes: urbano, não florestal, agropecuária, sem vegetação e em 2020 passaram para a classe Silvicultura
Antrópico	a) Em 1985 eram as classes: Florestal, não florestal, silvicultura e em 2020 passaram para a classe urbano; b) Em 1985 eram as classes: Florestal, não florestal, silvicultura e passaram para a classe agropecuária em 2020
Desmatadas	Em 1985 eram as classes: Florestal, não florestal e silvicultura e em 2020 passaram para a classe sem vegetação

Tabela 2: Critérios para tipologia proposta da modificação do uso e ocupação do solo 1985 -2020. Fonte: Elaborado pelos autores.

3. RESULTADOS

Nesta seção, apresentamos os resultados do nosso estudo, que se concentra em dois aspectos principais. Na primeira subseção (3.1), analisamos as mudanças no uso e ocupação do solo em São Francisco do Sul e localizamos as ilhas de calor na cidade. Na segunda subseção (3.2), desenvolvemos um termo de referência climatológico municipal, baseado na revisão bibliográfica, nas normativas legais e nos resultados do nosso estudo.

3.1. Mudanças no uso e ocupação e localização das ilhas de calor

O resultado da identificação das ilhas de calor nas duas estações e suas respectivas amplitudes pode ser verificado na figura 2. A amplitude registrada no período de 1985-2021, sendo a Figura 2a a amplitude do verão e a Figura 2b a amplitude do inverno:

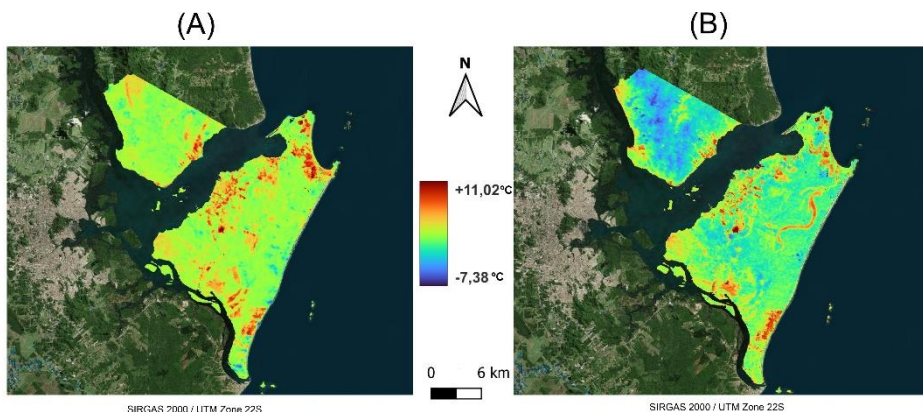


Figura 2 a-b: Comparativo das amplitudes entre verão e inverno. Fonte: Elaborado pelos autores.

A Figura 2 mostra as ilhas de calor em São Francisco do Sul, Santa Catarina, de 1985 a 2021. No verão (Figura 2a), o centro urbano e a área industrial ao sul apresentam as maiores amplitudes de temperatura, ultrapassando 11°C, evidenciando a ilha de calor urbana. No entanto, as regiões oeste e norte, com densa cobertura vegetal, e as áreas costeiras têm menor amplitude.

No inverno (Figura 2b), o padrão se mantém, com a amplitude no centro urbano um pouco menor, mas ainda acima de 7°C. As regiões com vegetação densa e áreas costeiras continuam com menor amplitude.

A comparação dos dados de temperatura ao longo do tempo sugere um aumento geral da amplitude das ilhas de calor tanto no verão quanto no inverno. Essa tendência ascendente pode estar associada ao crescimento urbano e à perda de cobertura vegetal. O pode ser analisado na figura 3.

O resultado da classificação do uso do solo, utilizando os critérios da tabela 1, podem ser identificados na figura 3.

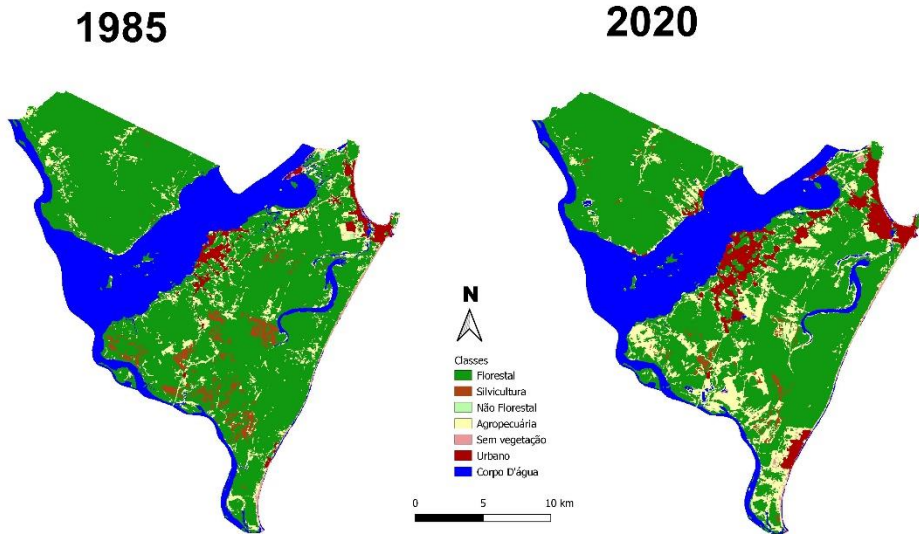


Figura 3: Evolução do uso e ocupação do solo. Fonte: Elaborado pelos autores.

A Figura 3 mostra a mudança no uso do solo em São Francisco do Sul, Brasil, de 1985 a 2020. Em 1985, florestas cobriam a maior parte do oeste e norte, mas em 2020, essa cobertura diminuiu devido à expansão urbana e agropecuária. A silvicultura aumentou, assim como a categoria "Não Florestal", associada à urbanização e agricultura. As atividades agropecuárias e áreas sem vegetação expandiram, substituindo áreas florestais e "Não Florestais". A expansão urbana ocorreu em todas as direções, afetando florestas, áreas "Não Florestais" e agrícolas. A população cresceu 85 %, de 27.000 em 1985 para 50.000 em 2020, com maior densidade de edificações.

Com o resultado da Figura 3 pode-se reclassificar a imagem, a identificação das amplitudes térmicas a partir do seus limites espaciais foi sobreposta as imagens termais do Landsat. A identificação da área transformada, bem como qual classe foi modificada, permitiu também verificar qual foi a amplitude térmica que acompanhou esta transformação (Figura 4).

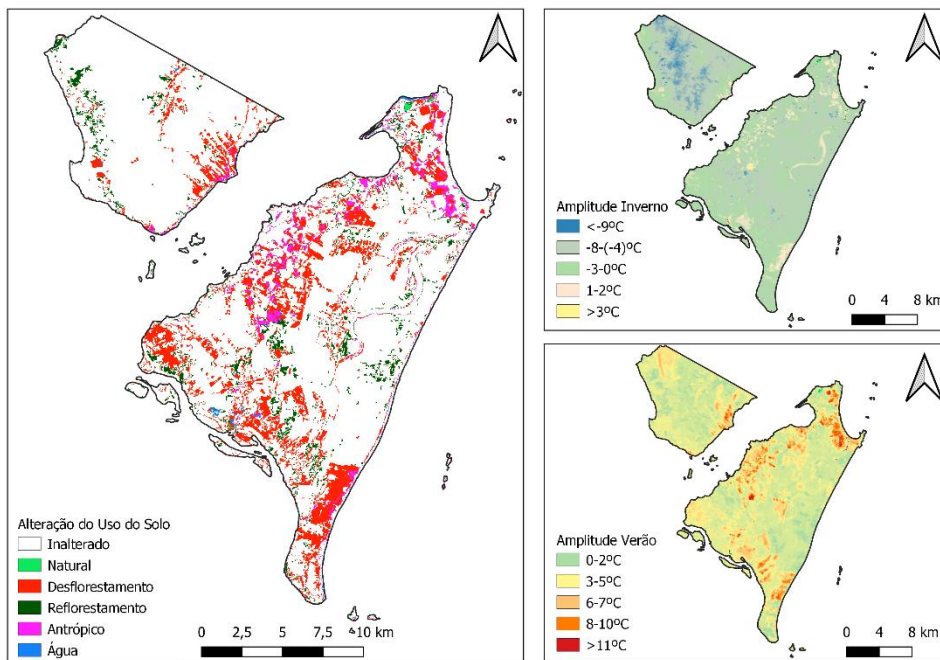


Figura 4: Variação do uso e ocupação e amplitude térmica no verão e inverno de 1985 – 2020.
 Fonte: Elaborado pelos autores.

Os impactos das transformações do uso e ocupação do solo em São Francisco do Sul nas amplitudes deve ser avaliada por classe. Nesse sentido, foram organizadas duas matrizes de transições (Tabelas 1 e 2) para avaliar as mudanças de uso e ocupação, indicando, assim, o que foi registrado em 1985 e o que se encontram em 2020.

Com base nos dados apresentados nas Tabelas 3 e 4 na seção de resultados, observa-se que a classe “Antrópico” teve a maior amplitude térmica tanto no verão quanto no inverno. Esses resultados indicam que o aumento da ocupação urbana pode estar diretamente relacionado com o aumento da temperatura na cidade, tornando evidente a necessidade de políticas públicas que visem à mitigação desses efeitos. Além disso, a redução significativa da área florestal em São Francisco do Sul, identificada a partir da análise das imagens térmicas Landsat e dos dados da plataforma Mapbiomas, torna evidente a necessidade de reflorestamento em áreas urbanas e rurais, além de incentivar o uso de materiais com baixa capacidade de armazenar calor nas construções urbanas.

	2020	2020	2020	2020
	Antrópico	Reflorestamento	Desmatadas	Natural
1986	Antrópico	Sem registro	Sem registro	Sem registro
1986	Reflorestamento	16,4	Sem registro	15,28
1986	Desmatadas	12,3	3,5	Sem registro
1986	Natural	12,5	6,5	3,56

Tabela 3: Amplitude térmica (°C) no verão a partir da tipologia proposta. Fonte: Elaborado pelos autores.

	2021	2021	2021	2021
	Antrópico	Reflorestamento	Desmatadas	Natural
1985	Antrópico	Sem registro	Sem registro	Sem registro
1985	Reflorestamento	12,6	Sem registro	8,62
1985	Desmatadas	7,47	5,11	Sem registro
1985	Natural	8,6	5,14	2,5

Tabela 4: Amplitude térmica (°C) no inverno a partir da tipologia proposta. Fonte: Elaborado pelos autores.

É importante destacar que a formação de ilhas de calor urbanas na cidade, com diferenças de temperatura intraurbanas de até 7°C, afeta diretamente a qualidade de vida da população local, aumentando a concentração de poluentes e material particulado. Nesse sentido, a elaboração de um termo de referência para o licenciamento ambiental se faz necessária para mitigar os impactos das mudanças no uso do solo na formação de ilhas de calor. O termo de referência poderá servir como um norteador nos processos de licenciamento ambiental de atividades potencialmente poluidoras, com a proposição de alternativas que reduzam a área impermeabilizada a ser ocupada e minimizem a sensação de desconforto térmico, considerando as características e peculiaridades do município, a fim de que sua implantação seja efetivada com êxito.

Portanto, a integração de metodologias que utilizem imagens térmicas e mapas de uso e ocupação do solo pode contribuir significativamente para a promoção da sustentabilidade ambiental e da qualidade de vida das populações urbanas, permitindo a adoção de medidas adaptativas e mitigadoras eficazes para

minimizar os efeitos das ilhas de calor e das mudanças climáticas em São Francisco do Sul e em outras regiões.

3.2. Elaboração do termo de referência climatológico municipal

Quando se pensa na competência em legislar sobre o licenciamento e outorga ambiental, deve-se pensar no ordenamento federal e estadual que atribui este poder ao município. Neste sentido são elas as leis federais leis nº 6.766/1979 e 12.187/2009, a Resolução Consema 99/2017.

A Resolução Consema 99/2017 estabelece um sistema de licenciamento ambiental municipal para atividades ou empreendimentos que causem ou possam causar impacto ambiental de âmbito local (Santa Catarina, 2017). A resolução classifica as atividades ou empreendimentos em três níveis de complexidade, de acordo com o porte, potencial poluidor e natureza da atividade ou empreendimento, indicando os respectivos estudos ambientais. O potencial poluidor da atividade é considerado pequeno (P), médio (M) ou grande (G) em função das características intrínsecas da atividade conforme Anexo VI desta Resolução. O potencial poluidor é estabelecido sobre as variáveis ambientais ar, água e solo. A resolução também estabelece que os municípios devem elaborar planos de controle ambiental para as atividades ou empreendimentos sujeitos a licenciamento ambiental municipal. Esses planos devem ser elaborados com a participação da população e devem conter medidas para prevenir e controlar os impactos ambientais causados pelas atividades ou empreendimentos.

A Resolução Consema 99/2017 é uma importante ferramenta para a proteção do meio ambiente em Santa Catarina (Santa Catarina, 2017). Ela estabelece um sistema de licenciamento ambiental municipal que é eficaz e eficiente na prevenção e controle dos impactos ambientais causados pelas atividades ou empreendimentos.

As leis federais nº 6.766/1979 e nº 12.187/2009 desempenham um papel fundamental para que os municípios brasileiros criem medidas de planejamento urbano que sejam sustentáveis e estejam em sintonia com a política nacional sobre mudanças climáticas. A Lei de Parcelamento do Solo Urbano (Brasil, 1979) regula a divisão de terrenos para controlar o crescimento urbano e exigir infraestrutura sustentável. Isso preserva áreas verdes e reduz a pegada ambiental. A Lei Nacional de Mudanças Climáticas (Brasil, 2009) orienta a política climática e incentiva ações de adaptação, tornando o planejamento urbano resiliente a eventos climáticos extremos e reduzindo riscos e emissões.

Integrando as leis de parcelamento do solo e mudanças climáticas nas políticas locais, municípios podem desenvolver de forma mais responsável, beneficiando o ambiente e cidadãos. Controle do crescimento urbano e infraestrutura sustentável previnem ocupação irregular e preservam áreas verdes. Medidas de adaptação às mudanças climáticas tornam cidades resilientes a eventos extremos. Redução de emissões de gases é crucial para preservar o clima

global. Assim, o alinhamento entre leis federais e políticas municipais promove um planejamento urbano mais sustentável para as cidades brasileiras.

A partir da revisão bibliográfica, da metodologia aplicada, os critérios e orientações da Resolução Consema 99/2017 e das leis nº 6.766/1979 e 12.187/2009, foi elaborado um documento de orientação para o licenciamento ambiental para o município de São Francisco do Sul que considerou os seguintes critérios a ser informados pelo empreendedor:

- a) cobertura vegetal na área do empreendimento;
- b) grau de intensificação da área urbanizada que o empreendimento provocará;
- c) proximidade/distância de corpos d'água;
- d) possibilidade de alteração na circulação dos ventos (altura do empreendimento);
- e) localização do empreendimento nas ilhas de calor mapeadas.

O documento final foi organizado e encaminhado para uma instância colegiada municipal do meio ambiente, denominada Conselho Municipal do Meio Ambiente. Esta instância é equivalente a uma câmara legislativa específica do meio ambiente para a escala municipal. Neste colegiado, participam a sociedade civil e o governo municipal. A proposta encaminhada sugeriu que a proposta fosse apreciada na forma de documento normativo para a tomada de decisão conjunta entre o órgão público municipal e o empreendedor. Desta forma, o envolvimento das partes (poder público e capital) teriam um ponto de partida na busca de orientações e soluções para a não ampliação das ilhas de calor no município, uma vez que as alterações climáticas nesta escala possuem relação direta com adensamento urbano e as diferentes formas de uso e cobertura do solo.

O mapa da amplitude térmica municipal, agrupado pelas classes da Tabela 2 (Figura 5), é um documento georreferenciado atualizável. Ele permite que o poder público e empreendedores identifiquem a localização do empreendimento em relação às classes de amplitude. Medidas mitigadoras, conforme a Tabela 5, serão necessárias com base na amplitude térmica do local.

As medidas compensatórias, variando de 1 a 5, envolvem intervenções no empreendimento, com prazos correspondentes. A menos severa requer intervenção antes do início do empreendimento, dentro de 30 dias após identificação da amplitude térmica. A mais severa inclui a relocação do empreendimento para uma área designada pelo poder público, com um prazo de 180 dias. Estas medidas visam a mitigação dos impactos das ilhas de calor.

Com base nos itens 1 a 5 descritos no início da seção, é possível associar medidas e prazos com as classes da Tabela 3 da seguinte forma (Tabela 5).

Item	Classe da Amplitude	Amplitude Térmica	Medidas Compensatórias	Prazo
1. Cobertura vegetal na área do empreendimento	Classe 01	0°C	Intervenção no empreendimento antes do seu início	30 dias
2. Grau de intensificação da área urbanizada que o empreendimento provocará	Classe 02	1-3°C	Intervenção no empreendimento em fase de construção	60 dias
3. Proximidade/distância de corpos d'água	Classe 03	4 - 6°C	Intervenção no empreendimento em fase operacional	90 dias
4. Possibilidade de alteração na circulação dos ventos (altura do empreendimento)	Classe 04	7 - 9°C	Intervenção no empreendimento em fase operacional e compensação em outra área	120 dias
5. Localização do empreendimento nas ilhas de calor mapeadas	Classe 05	>9°C	Intervenção no empreendimento antes do início, inclusão do empreendimento na área a ser destinada pelo poder público e compensação em outra área	180 dias

Tabela 5: Proposta de referência. Fonte: Elaborado pelos autores.

Posteriormente, o poder público e os empreendedores deverão acordar as medidas que visam minimizar ou compensar os impactos identificados no Mapa de Amplitude Térmica (Figura 5) Essas medidas deverão estar amparadas na legislação ambiental em vigor e com prazos que permitam a fiscalização do cumprimento do acordo.

4. DISCUSSÃO

O planejamento urbano é essencial para cidades resilientes, prevenindo ilhas de calor e impactando as mudanças climáticas. Faltam estudos nestas áreas em municípios pequenos, onde a adaptação de políticas de mitigação é vital. Utilizamos referências e geoprocessamento para adaptar estratégias a esses municípios, levando em conta seus recursos e contextos.

Conforme destacado por Gotardo *et al.* (2019), a substituição de florestas por pastagens ou a densificação urbana influencia o clima local e afeta indicadores como a radiação, impactando a temperatura. Este estudo reforça essas descobertas, indicando que as mudanças no uso e ocupação do solo são fatores críticos a serem considerados.

Conforme as leis brasileiras, municípios regulam o uso do solo e o licenciamento ambiental. A metodologia proposta avaliou as ilhas de calor e elaborou um termo de referência municipal, essencial para cidades menores.

Licenciamentos ambientais são cruciais para controlar impactos e garantir sustentabilidade. O município pode criar medidas mitigadoras, como limites de construção e incentivos para práticas sustentáveis. As ilhas de calor, conforme Oke (2002), são evidentes em todas as áreas de São Francisco do Sul, não apenas urbanas.

A transição de áreas de “Reflorestamento” para áreas “Antrópicas” resultou em um aumento na temperatura média para 16,4°C, indicando que a conversão de áreas florestais em áreas urbanizadas contribui para o aumento das ilhas de calor. As áreas urbanizadas, que são caracterizadas por uma abundância de superfícies pavimentadas e edifícios, geralmente têm uma capacidade de dissipação de calor mais baixa, o que pode resultar em temperaturas mais altas.

Por outro lado, áreas de desmatamento onde a vegetação foi removida podem se tornar ilhas de calor se o solo exposto absorver mais calor do que a floresta circundante. Da mesma forma, áreas agrícolas podem se tornar ilhas de calor se a cobertura do solo e as práticas de manejo resultarem em temperaturas mais altas do que as áreas não cultivadas circundantes.

Nesse contexto, a transição de áreas “Desmatadas” para “Reflorestamento” resultou em uma temperatura média mais baixa de 3,5°C, sugerindo que a restauração de áreas desmatadas para florestas pode ajudar a reduzir as ilhas de calor e resfriar o ambiente.

Ferreira, Pereira & Labaki (2020) apresentaram um modelo espacial ligando mudanças territoriais urbanas e temperaturas superficiais. Eles sugerem que áreas intensificadas com superfícies pavimentadas e edifícios que dissipam pouco calor podem elevar a temperatura urbana. No entanto, isso é apenas um dos muitos fatores que influenciam a formação de ilhas de calor.

Vários estudos abordam a diferença de temperatura entre áreas urbanas e rurais. Sakakibara & Owa (2005) notam o efeito ilha de calor em pequenas cidades, enquanto Fischer *et al.* (2012) discutem respostas ao estresse térmico

com mudanças climáticas. Arifwidodo & Tanaka (2015) analisam o fenômeno em Bangkok, destacando o impacto das mudanças climáticas. Isso sublinha a importância de entender essas diferenças e os impactos climáticos.

Cardo *et al.* (2014) indicam que, apesar da ilha de calor urbano não estar ligada diretamente às áreas rurais, os impactos nestas podem ser notados devido à dinâmica populacional que influencia a ecologia urbana. Esta dinâmica realça a complexidade das interações entre o ambiente construído e os padrões climáticos, tanto urbanos quanto rurais. Assim, é essencial considerar diversos fatores, como uso do solo, urbanização e características do solo ao mitigar as ilhas de calor. A pesquisa sugere que a conservação e restauração de áreas verdes podem minimizar esse efeito.

Fialho (2012) e Makumbura, Samarasinghe & Rathnayake (2022) enfatizaram a relevância da combinação de imagens térmicas e mapas de uso do solo para entender a mudança climática e desenvolver medidas de mitigação. Esta metodologia indica a dinâmica de mudanças no uso do solo a nível municipal. Sua implementação proporcionará uma estratégia aplicável a qualquer município, considerando usos do solo além do humano, que influenciam ilhas de calor.

O estudo sublinha a importância do uso da terra e cobertura vegetal na mitigação das ilhas de calor. A conservação e reflorestamento podem reduzir temperaturas e melhorar a vida urbana. Ryan (2015) e Liu, Huang & Yang (2021) apontam que todas as cidades são fontes de gases efeito estufa, e tecnologias de sensoriamento e computacionais podem ajudar a quantificar e analisar esses efeitos. Mesmo pequenas áreas podem formar ilhas de calor se mal gerenciadas. A presença de água e espaços abertos não impede sua formação. O município estudado se aqueceu em 36 anos, principalmente devido à redução de áreas verdes.

A questão das ilhas de calor pode ser abordada com um termo de referência das autoridades públicas para atenuar impactos. Segundo autores como Amorim (2020) e Bassani *et al.* (2022), é crucial analisar a dinâmica do uso da terra e a morfologia urbana para entender os efeitos da mudança climática e desenvolver medidas de mitigação. Este estudo valida a eficácia de uma metodologia que une imagens térmicas e mapas do uso do solo para entender ilhas de calor, conforme afirmado por Fialho (2012) e Makumbura Samarasinghe & Rathnayake (2022). O termo de referência, aliado à tecnologia, se torna uma ferramenta útil para a gestão de ilhas de calor, especialmente em cidades pequenas como São Francisco do Sul, Brasil.

No entanto, este estudo não é conclusivo e requer mais discussão. Por isso, apresentamos esta proposta às autoridades públicas do município de São Francisco do Sul. Com base na metodologia de criação do mapa e termos, solicitamos sua avaliação pelo conselho ambiental municipal. O número de protocolo para este pedido é 2022/13569SFS. Até o momento houve apenas uma reunião colegiada mas não deliberativa.

Os estudos que se apoiam na aprovação de licenciamento ambiental para atividades potencialmente impactantes devem possibilitar a identificação e medição dos impactos que a implementação, operação e desativação desses projetos podem ter no clima. Isso é importante garantir uma análise apropriada de alternativas de tecnologia e localização que minimizem esses impactos.

Esta metodologia provou ser eficaz para desenvolver um termo de referência para municípios menores, considerando os impactos das ilhas de calor e o papel dos governos municipais. Pode ser globalmente replicada devido à quantidade de municípios de tamanho similar. Poderíamos aprimorá-la com informações adicionais sobre poluentes e dados climáticos específicos. Apesar de abordar a dinâmica de uso da terra, uma discussão mais ampla sobre questões urbanas poderia enriquecer a análise. Essas variáveis poderiam expandir nossa compreensão das ilhas de calor.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho propõe uma metodologia para aprimorar a gestão pública em São Francisco do Sul, cidade portuária e turística. A cidade atualmente revisa leis de uso do solo, enquanto alterações climáticas foram observadas de 1985 a 2021. A pesquisa sugere microclimas e possíveis ilhas de calor, confirmáveis com dados meteorológicos, refletindo o impacto das mudanças no uso do solo e densidade populacional.

A integração de metodologias com imagens térmicas e mapas de uso do solo contribui para a sustentabilidade ambiental e qualidade de vida urbana, permitindo medidas para minimizar efeitos das ilhas de calor e mudanças climáticas.

O Termo de Referência, considerando especificidades locais, pode guiar licenciamento ambiental de atividades poluentes, sugerindo alternativas para reduzir ocupação de área impermeabilizada e desconforto térmico, mantendo condições climáticas favoráveis.

BIBLIOGRAFÍA

Arifwidodo, Sigit D. & Tanaka, Takahiro (2015), "The characteristics of urban heat island in Bangkok, Thailand", *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 195, pp. 423-428. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.06.484>.

Amorim, Margarete (2020), *Ilhas de calor em cidades tropicais de médio e pequeno porte: teoria e prática*, Curitiba, Editora Appris.

- Bassani, Francesca; Garbero, Valeria; Poggi, Davide; Ridolfi, Luca; Hardenberg, Jost & Milelli, Massimo (2022), “An Innovative Approach to Select Urban-Rural Sites for Urban Heat Island Analysis: The Case of Turin (Italy)”, *Urban Climate*, vol. 42, nº 101099. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101099>.
- Bulkeley, Harriet & Broto, Vanesa (2012), “Government by experiment? Global cities and the governing of climate change”, *Transactions of the Institute of British Geographers*, vol. 38, nº 3, pp. 361-375. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1475-5661.2012.00535>.
- Cardo, María Victoria; Vezzani, Darío; Rubio, Alejandra & Carbajo, Aníbal E. (2014), “Integrating demographic and meteorological data in urban ecology: a case study of container-breeding mosquitoes in temperate Argentina”, *Area*, vol. 46, nº 1, pp. 18-26. DOI: <https://doi.org/10.1111/area.12071>.
- Congedo, Luca (2021), “Semi-Automatic Classification Plugin: A Python Tool for the Download and Processing of Remote Sensing Images in QGIS”, *Journal of Open Source Software*, vol. 6, nº 64, pp. 3172. DOI: <https://doi.org/10.21105/joss.03172>.
- Correia Filho, Washington Luis Félix; de Barros Santiago, Dimas; de Oliveira-Júnior, José Francisco & de Silva Junior, Carlos Antonio (2019), “Impact of Urban Decadal Advance on Land Use and Land Cover and Surface Temperature in the City of Maceió, Brazil. Land Use”, *Policy*, vol. 87, nº 104026. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104026>.
- Chen, Xiao-Ling; Zhao, Hong-Mei; Li, Ping-Xiang & Yin, Zhi-Yong. (2006), “Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes”, *Remote Sensing of Environment*, vol. 104, nº 2, pp. 133-146. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.11.016>.
- Di Vita, Stefano. (2020), "Medium-sized cities, intermediate scales and planning. Potential processes and missing tools in Brescia", *Ciudades*, vol. 23, pp. 1-22. DOI: <https://doi.org/10.24197/ciudades.23.2020.01-22>.
- Degirmenci, Kenan; de Souza, Kevin; Fieuw, Walter; Watson, Richard & Yigitcanlar, Tan (2021), “Understanding policy and technology responses in mitigating urban heat islands: A literature review and directions for future research”, *Sustainable Cities and Society*, vol. 70, nº 102873. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102873>.
- Enqvist, Erica & Karvonen, Andrew (2021), “Experimental governance and urban planning futures: five strategic functions for municipalities in local innovation”, *Urban Planning*, vol. 6, nº 1, pp. 183-194. DOI: <https://doi.org/10.17645/up.v6i1.3396>.
- Ferreira, Fabiana; Pereira, Enio & Labaki, Lucila (2020), “Fatores associados à distribuição da temperatura das superfícies em áreas urbanas: zonas climáticas locais e características espectrais”, *Ambiente Construído*, vol. 21, pp. 237-262. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212021000100504>. Acesso em: 01 mar. 2024.

- Fialho, Edson (2012), “Ilha de Calor: reflexões acerca de um conceito”, *Acta Geográfica*, pp. 61-76, DOI: <https://doi.org/10.5654/actageo2012.0002.0004>
- Fischer, Erich; Oleson, Keith & Lawrence, David (2012), “Contrasting urban and rural heat stress responses to climate change”, *Geophysical Research Letters*, vol. 39, n° 3. DOI: <https://doi.org/10.1029/2011gl050576>.
- Gotardo, Rafael; Pinheiro, Adilson; Piazza, Gustavo; Kaufmann, Vander & Torres, Edson. (2019), “Comparação entre variáveis microclimáticas de local aberto e florestal em um bioma da Mata Atlântica, sul do Brasil”, *Ciência Florestal*, vol. 29, pp. 1415–1427. Disponível em <https://doi.org/10.5902/1980509834832>. Acesso em: 01 mar. 2024.
- Ibge (2023), “Ibge @cidades. | Cidades@ | Santa Catarina São Francisco do Sul | História & Fotos”. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/sao-francisco-do-sul/historico>. Acesso em: 11 abr. 2022.
- Lei de Parcelamento do Solo Urbano* (1979), disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6766.htm. Acesso em: 15 jun. 2022.
- Lei Nacional de Mudanças Climáticas* (2009), disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/112187.htm. Acesso em: 15 jun. 2022.
- Liu, Huimin; Huang, Bo; Zhan, Qingming; Gao, Sihang; Li, Rongrong & Fan, Zhiyu (2021), “The influence of urban form on surface urban heat island and its planning implications: Evidence from 1288 urban clusters in China”, *Sustainable Cities and Society*, vol. 71, n° 102987. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102987>
- Llop, Josep; Iglesias, Borja; Vargas, Rodrigo & Blanc, Francesca (2019), “Las ciudades intermedias: concepto y dimensiones”, *Ciudades*, n° 22, pp 23-43. DOI: <https://doi.org/10.24197/ciudades.22.2019.23-43>.
- Makumbura, Randika; Samarasinghe, Jayanga; Rathnayake, Upaka (2022), “Multidecadal Land Use Patterns and Land Surface Temperature Variation in Sri Lanka”, *Applied and Environmental Soil Science*, vol. 2022. Disponível em: <https://www.hindawi.com/journals/aess/2022/2796637/>. Acesso em: 11 abr. 2022.
- Mukhtar-Landgren, Dalia; Kronsell, Annica; Palgan, Yulia & Wirth, Timo (2019), “Municipalities as enablers in urban experimentation”, *Journal of Environmental Policy & Amp Planning*, vol. 21, n° 6, pp. 718-733. DOI: <https://doi.org/10.1080/1523908x.2019.1672525>.
- Orsi, Rafael (2023), “As mudanças climáticas globais e as cidades: a inserção da problemática nas políticas públicas locais”, *Simbiótica. Revista Eletrônica*, vol. 10, n° 3, pp. 96-113. DOI: <https://doi.org/10.47456/simbitica.v10i3.41104>.

Oke, Timothy (2002), *Boundary Layer Climates*, London, Taylor Francis.

Ryan, Daniel (2015), "From commitment to action: a literature review on climate policy implementation at city level", *Climatic Change*, vol. 131, nº 3, pp. 519-529. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10584-015-1402-6>.

Sakakibara, Yasushi & Owa, Kaori (2005), "Urban-rural temperature differences in coastal cities: influence of rural sites", *International Journal of Climatology*, vol. 25, nº 6, pp. 811-820. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.1180>.

Santa Catarina, Consema (2017), "Resolução Consema nº 99 de 05/07/2017". Aprova, nos termos da alínea a, do inciso XIV, do art. 9º da Lei Complementar Federal nº 140, de 8 de dezembro de 2011, listagem das atividades ou empreendimentos que causem ou possam causar impacto ambiental de âmbito local, sujeitas ao licenciamento ambiental municipal e estabelece outras providências. DOE - SC, 6 jul 2017. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=345931>. Acesso em: 15 jun. 2022.

Souza, Carlos; Shimbo, Julia; Rosa, Marcos; Parente, Leandro; Alencarm Ane; Rudorff, Bernarndo F.T.; Hasenack, Heinrich; Matsumoto, Marcelo; Ferreira, Laerte; Souza-Filho, Pedro; de Oliveira, Sergio; Rocha, Washington; Fonseca, Antonio; Marques, Camila; Diniz, Cesar; Costa, Diego; Monteiro, Dyeden; Rosa, Eduardo; Vélez-Martín, Eduardo & Weber, Eliseu(2020), "Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine", *Remote Sensing*, vol. 12, nº 17, nº 2735. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12172735>.

Teixeira, Danielle & Amorim, Margarete (2018), "O estudo da ilha de calor em cidade de pequeno porte: algumas contribuições", *Sociedade & Natureza*, vol. 30, nº 2, pp. 186-209. DOI: <https://doi.org/10.14393/SN-v30n2-2018-9>.

Teixeira, Zoraide & Pessoa, Zoraide (2021), "Planejamento urbano e adaptação climática: entre possibilidades e desafios em duas grandes cidades brasileiras", *Revista Brasileira de Estudos de População*, vol. 38, pp. 1-21. DOI: <https://doi.org/10.20947/S0102-3098a0165>.

United States Geological Survey USGS (2023), "Using the USGS Landsat 8 Product" Disponível em: https://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php. Acesso em: 1 out. 2023.

Xu, Yong; Ren, Chao ; Ma, Peifeng; Ho, Justin; Wang, Weiwen ; Lau, Kevin; Lin, Huin & Ng, Edward (2017), "Urban Morphology Detection and Computation for Urban Climate Research", *Landscape and Urban Planning*, vol. 167, pp. 212–224. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.06.018>. Acesso em: 01 mar. 2024.

Wang, Zhi-Hua (2022) "Reconceptualizing urban heat island: Beyond the urban-rural dichotomy", *Sustainable Cities and Society*, vol. 77, nº 103581. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103581>.

Zhou, Decheng; Zhao, Shuging; Liu, Shuguang; Zhang, Liangxia & Zhu, Chao (2014), "Surface urban heat island in china's 32 major cities: spatial patterns and drivers", *Remote Sensing of Environment*, vol. 152, pp. 51-61. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.05.017>.