XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ENTAC 2022

Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável
Canela, Brasil, 9 a 11 novembro de 2022

Identificação de padrões térmicos no município de Porto Alegre, RS, através de sensoriamento remoto

Identification of thermal patterns in the city of Porto Alegre, RS, through remote sensing

Alline Gomes Lamenha e Silva
Ifal| Penedo| Brasil | alline.silva@ifal.edu.br
UFRGS | Porto Alegre | Brasil | alline.silva@ufrgs.br
Isabel Rosa de Carvalho
UFRGS | Porto Alegre | Brasil | 00314365@ufrgs.br
João Pedro Silva Barbosa
UFRGS | Porto Alegre | Brasil | 00297149@ufrgs.br
Maurício Carvalho Ayres Torres
UFRGS | Porto Alegre | Brasil | 00203141@ufrgs.br

Resumo

O processo de urbanização pode influenciar as condições climáticas locais, influenciando no campo térmico da cidade e no consumo energético para a climatização de edificações. Nesse sentido, este trabalho busca identificar áreas com potencial para formação de ilhas de calor e frescor, na cidade de Porto Alegre/RS. A estimativa das temperaturas superficiais, baseou-se em imagens do satélite Landsat-8. Para identificação das áreas mais suscetíveis, foi realizada uma análise de hot spots e cold spots. Foi possível identificar os locais mais críticos da cidade, em termos da formação de ilhas de calor e frescor, considerando os cenários de verão e inverno.

Palavras-chave: Temperatura Superficial, Landsat-8, Ilha de calor urbano, Ilha de Frescor Urbano, Análise de *Hot Spots* e *Cold Spots*

Abstract

The urbanization process can influence the local climatic conditions, influencing city's thermal field and energy consumption for the air conditioning of buildings. In this sense, this work seeks to identify areas with potential for heat and cooling island formation in Porto Alegre/RS. The estimation of surface temperatures was based on Landsat-8 satellite images. A hot spot and cold spot analysis were performed to identify the most susceptible areas. It was possible to identify the city's most critical areas in heat and cooling island formation considering summer and winter scenarios.

Como citar:
SILVA, A; CARVALHO, I.; BARBOSA, J.; TORRES, M. Identificação de padrões térmicos no município de Porto Alegre, RS, através de sensoriamento remoto. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. XXX-XXX.

Keywords: *Surface Temperature, Landsat-8, Urban Heat Island, Urban Cool Island, Hot Spots and Cold Spots Analysis*

INTRODUÇÃO

O processo de urbanização influencia as condições climáticas locais, uma vez que envolve a substituição dos materiais que constituem a paisagem por outros, com propriedades distintas. Entre os impactos ocasionados pelas mudanças no uso e cobertura do solo, estão as alterações no campo térmico da cidade. Esta diferença térmica pode estar relacionada a três questões principais: a presença de materiais impermeáveis, que absorvem a radiação solar (onda curta) e a reemitem na forma de calor (onda longa); a presença de edifícios de diferentes alturas e tamanhos que geram sombras e dossel variado e; a geração de calor antropogênico diretamente na rua ou no interior dos edifícios [1]. Nesse sentido, a existência de ilhas de calor ou frescor podem ser decisivas em questões relativas ao aumento do consumo de energia para a climatização de edificações, além de influenciar o conforto térmico urbano [2].

O fenômeno das Ilhas de Calor Urbanas foi descrito pela primeira vez no século XIX por Luke Howard [3], quando observou a diferença de temperatura do ar entre o centro de Londres e o seu entorno rural. Essa diferença foi atribuída às características da cobertura do solo nos dois cenários pesquisados. No centro urbano, os materiais que constituem a paisagem, em geral, absorvem mais absorvem a radiação solar e emitem calor, ocasionando o aumento das temperaturas superficiais e do ar.

Já a relação da vegetação urbana pode ser destacada como importante mitigador do aquecimento das superfícies [4]. Através dos espaços verdes é possível criar Ilhas de Frescor Urbanas, caracterizadas por apresentarem temperaturas significativamente mais baixas. Tal fenômeno ocorre, principalmente, em função do sombreamento, dos processos de fotossíntese e evapotranspiração e da blindagem do movimento do ar [5].

A cobertura do solo e a morfologia urbana são fatores determinantes para a formação de Ilhas de Calor [6–8]. No Brasil, o estudo pioneiro da cidade de São Paulo dentro desta temática também apontou a correlação entre o adensamento urbano e as temperaturas de superfície [9]. Outros fatores igualmente importantes a serem considerados como intensificadores do fenômeno são a poluição atmosférica e a sazonalidade, abordados de forma integrada. Destaca-se o papel da sazonalidade como intensificador das Ilhas de Calor Urbanas, à medida que fontes de calor estacionais são amplamente utilizadas (calefação no inverno e ar-condicionado no verão) e transferidas para a atmosfera [10].

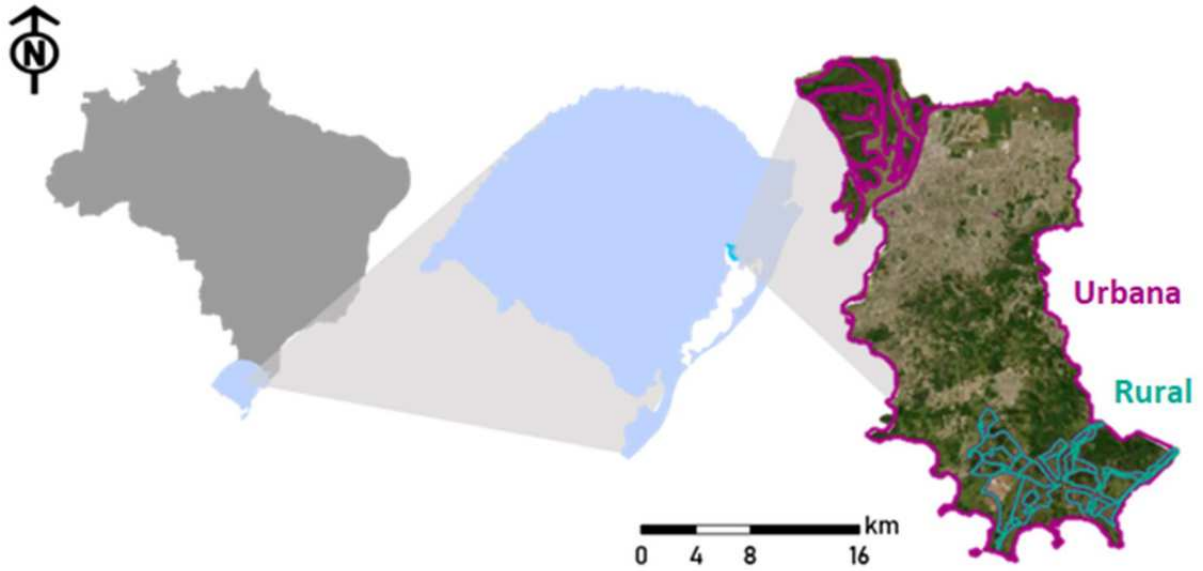
Nesse contexto, a cidade de Porto Alegre destaca-se, entre as metrópoles da região Sul do Brasil, com o registro de um dos maiores índices de Ilhas de Calor diurna. Além disso, a capital apresentou os maiores valores de tendência de aquecimento, atingindo cerca de 0,3 ° C por década, em uma série histórica de 16 anos [11]. Por outro lado, ao analisar os parques urbanos de Porto Alegre/RS, é possível verificar a ocorrência de temperaturas de superfície destacadamente mais baixas, associadas aos espaços verdes inseridos na malha urbana da cidade [12].

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo identificar a evolução dos padrões de associação espacial relacionados à formação de ilhas de calor e frescor urbanas na cidade de Porto Alegre/RS, considerando os cenários de verão e inverno.

ÁREA DE ESTUDO

O estudo de caso proposto foi desenvolvido para a cidade de Porto Alegre/RS (Figura 1). A cidade está localizada entre os paralelos 29º55' e 30º15'S e entre os meridianos 51º e 51º20'W, no estado do Rio Grande do Sul, sendo a capital deste. Possui uma população estimada de quase 1,5 milhão de habitantes [13].

Figura 1: Localização da cidade de Porto Alegre

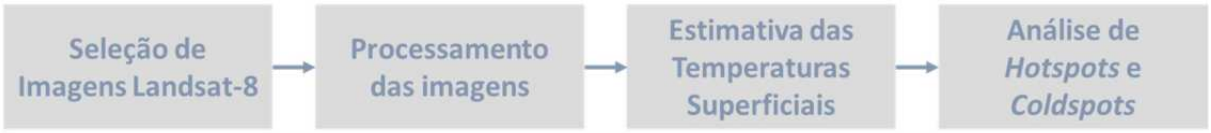


Fonte: os autores.

MÉTODO

Para o mapeamento das áreas suscetíveis à formação de ilhas de calor e frescor urbanas, foram seguidas as etapas metodológicas apresentadas na Figura 2 e descritas a seguir.

Figura 2: Fluxo metodológico.



Fonte: os autores.

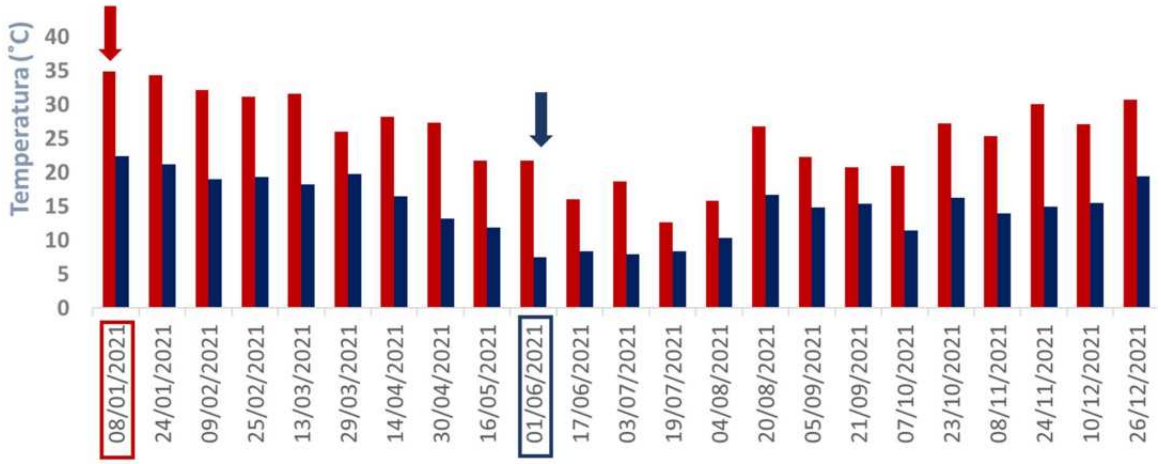
SELEÇÃO DE IMAGENS

Foram selecionadas imagens representativas de períodos de temperaturas extremas, do ano de 2021, para a área de estudo. Para tal, foram consideradas as 23 imagens, disponíveis da Coleção 2, Nível 2, obtidas através do sensor TIRS do satélite Landsat-8, correspondente à cena relativa ao ponto 81 da órbita 221, com resolução espacial de

100 metros. Para todas as datas, foram verificadas as temperaturas diárias máxima e mínima, detectadas na estação meteorológica de Porto Alegre (83967) [14], e apresentadas na Figura 3.

Inicialmente, foram selecionadas as imagens referentes aos dias de maior temperatura do ar diária máxima e de menor temperatura diária mínima. Foi, então, verificada a existência de cobertura de nuvens significativa nas imagens selecionadas. Como ambas as imagens atenderam ao critério de baixa cobertura de nuvens, as imagens dos dias 08/01/2021 e 01/06/2021 foram adotadas como representativas dos cenários de verão e de inverno, na área de estudo.

Figura 3: Temperaturas do ar diárias máxima e mínima, nos dias com imagens disponíveis em 2021.



Fonte: os autores.

PROCESSAMENTO DE IMAGENS

A obtenção e processamento das imagens foi realizada na plataforma baseada em nuvem *Google Earth Engine* (GEE). A plataforma possibilita o processamento massivo e de alto desempenho de conjuntos de dados geoespaciais, de forma gratuita [15], sendo possível acessar, entre outros, as coleções temporais de imagens da série Landsat, além de possibilitar a reamostragem de resolução espacial. No presente estudo, foi utilizada, especificamente, a banda 10 do satélite as imagens foram reamostradas para 30 metros.

CÁLCULO DAS TEMPERATURAS SUPERFICIAIS

A Temperatura da Superfície é um parâmetro fundamental em estudos sobre o campo térmico urbano. Na Coleção 2 do satélite Landsat-8, a temperatura de superfície disponibilizada é obtida com base na banda termal e em outros dados auxiliares, como dados de emissividade do sensor ASTER e outras informações do sistema GEOS-5 FP-IT. Adicionalmente, foi necessário o reescalonamento dos números digitais, bem como a transformação da unidade de medida de Kelvin para graus Celsius, através da Equação 1 [16]:

$$\mathrm{TS} = 0{,}00341802 \times B_{10} + 149 - 273{,}15 \qquad Eq.\ 1$$

em que: TS é a temperatura superficial (°C); e B_{10} é a banda 10 do satélite Landsat-8.

CÁLCULO DE *HOT SPOTS* E *COLD SPOTS*

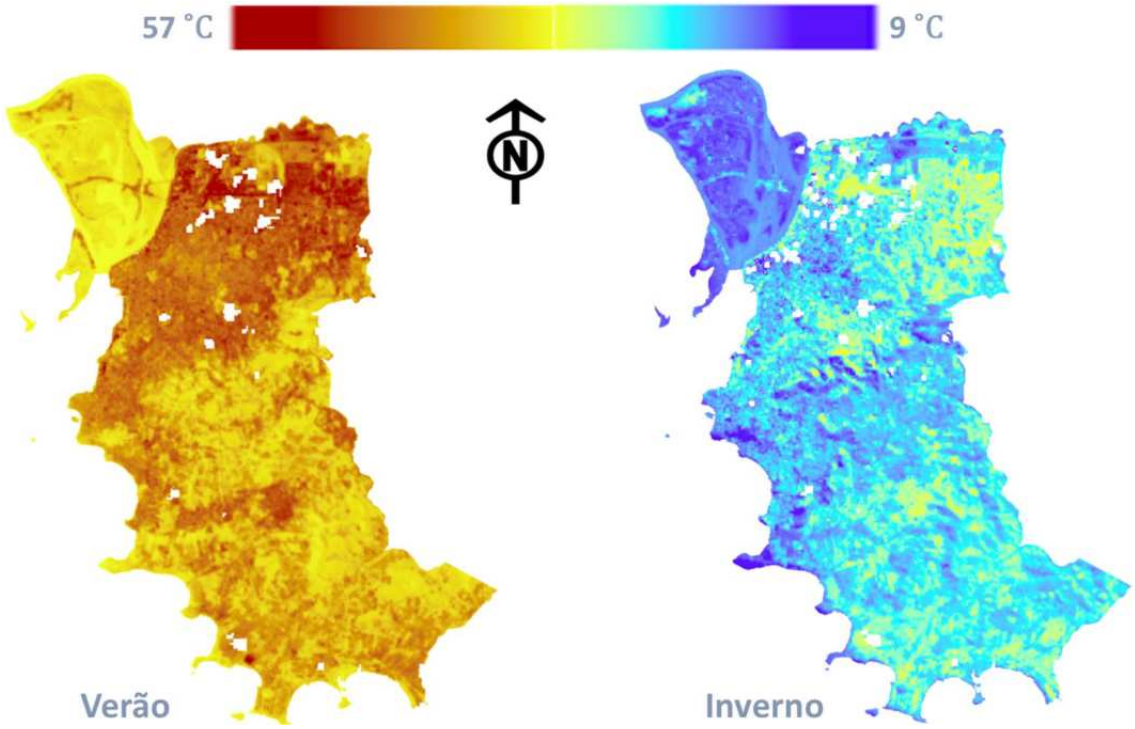
A avaliação dos agrupamentos de associação espacial das temperaturas de superfície foi realizada com base na estatística Getis-Ord Gi* [17], possibilitando a identificação de áreas nas quais estão agrupadas espacialmente as temperaturas superficiais mais elevadas (*hot spots*) ou mais reduzidas (*cold spots*), em relação às temperaturas locais. Entende-se que tais áreas possam indicar locais suscetíveis, respectivamente, à formação de ilhas de calor e de frescor. Foram considerados como *hot spots* ou *cold spots* significativos, aqueles calculados com nível de confiança superior a 99%. O cálculo de *hot spots* e *cold spots* foi executado através do software ArcMap 10.5.1.

RESULTADOS

TEMPERATURAS SUPERFICIAS

Na Figura 4, são apresentadas as temperaturas de superfície estimadas para os cenários de verão e inverno, e na Tabela 1 observa-se o sumário estatístico dessas temperaturas.

Figura 4: Temperaturas Superficiais nos cenários de verão e inverno.



Fonte: os autores.

Tabela 1: Sumário estatístico das temperaturas superficiais.

Temperatura (˚C)	Verão (08/01/2021)	Inverno (01/06/2021)
Mínima	28,7	9,0
Máxima	57,5	24,9
Média	38,5	16,4
Desvio Padrão	4,7	1,4

Fonte: os autores.

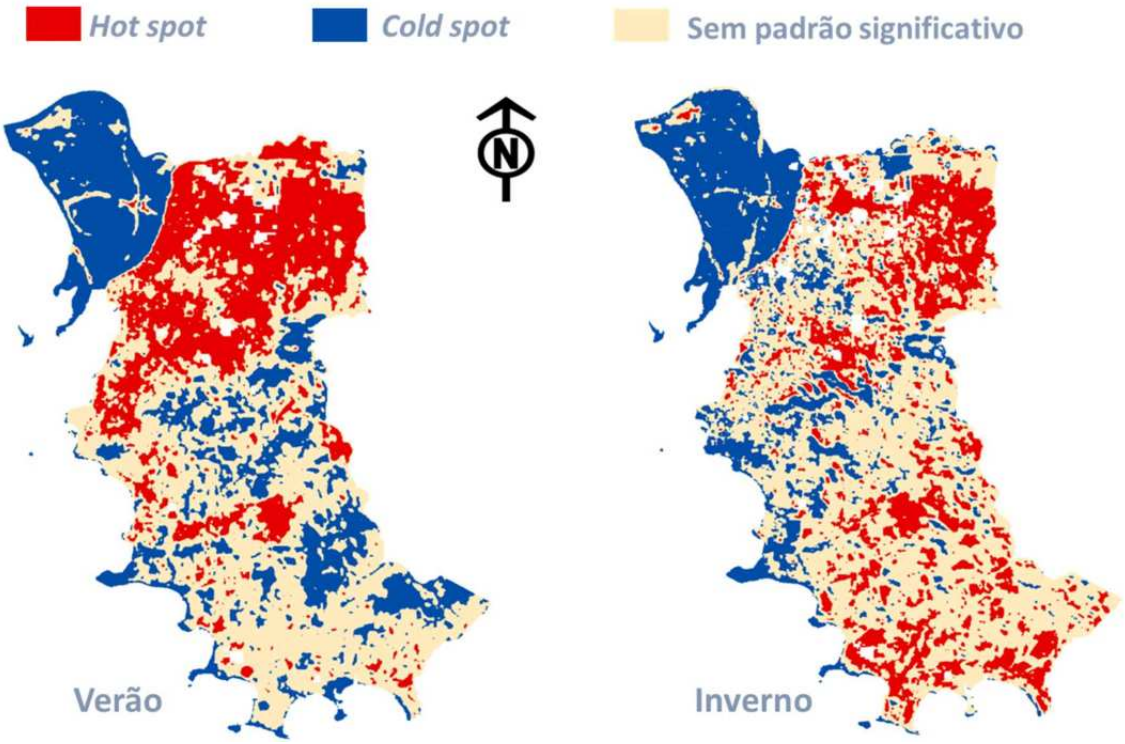
Durante o verão, a temperatura média apresentada foi de 38,5°C, sendo que a menor e a maior temperatura de superfície registradas no município de Porto Alegre foram, respectivamente, de 28,7 °C e 57,5°C, havendo uma diferença de 28,8°C entre as duas. Já no inverno tais temperaturas foram de, respectivamente, 9°C e 24,9°C, havendo uma diferença de 15,9 °C entre a menor e a maior; a temperatura média nesta estação foi de 16,4°C.

Tais informações demonstram o contraste significativo entre as estações do ano em Porto Alegre. Porém, apesar de tais números absolutos, nota-se uma semelhança na localização das temperaturas extremas: o padrão espacial das temperaturas mais elevadas e das temperaturas mais baixas mostram-se parecidos, encontrando-se principalmente nas zonas central e norte do município.

ANÁLISE DE HOTSPOTS

Na Figura 5, ilustra-se a ocorrência espacial de áreas estatisticamente definidas como *hot spots* e *cold spots* locais, determinadas com um nível de confiança de 99%. As áreas assim identificadas representam locais que, destacadamente, apresentam temperaturas superficiais maiores ou menores do que aquelas observadas localmente.

Figura 5: *Hot spots* e *Cold spots* de temperatura superficial, identificados nos períodos de verão e inverno



Fonte: os autores.

Apresenta-se, na Tabela 2, a relação das áreas ocupadas pelos *hot spots* e *cold spots*. Durante o verão, os *hot spots* estão presentes em 25% da área total do município, enquanto no inverno estão presentes em 22% do município. Portanto, há uma diferença de 17 km² na área de Porto Alegre onde se formam *hot spots* do verão para o inverno. Já em relação aos *cold spots*, no verão se formam em 28% da área do município, enquanto no inverno ocupam uma área de 23%, de Porto Alegre. Assim, há uma diferença de 25 km² na área onde se formam *cold spots* do verão para o inverno.

Tabela 2: Área de *hot spots* e *cold spots*.

Área (km²)	Verão (08/01/2021)	Inverno (01/06/2021)
Cold spot	135	110
Hot spot	123	106

Fonte: os autores.

Nota-se, primeiramente, que tanto os *hot spots* quanto os *cold spots* estão presentes em maior área durante o verão, e que, independentemente da estação analisada há uma maior área de *cold spots* do que de *hot spots*. Além disso, seguem uma distribuição espacial parecida nas duas estações, sendo que os *hot spots* tendem a se concentrar nas zonas central e norte, embora durante o inverno há uma vasta presença na zona sul, juntamente da grande quantidade de *cold spots* criados pelo arquipélago, localizado no noroeste do município.

Relativamente à dinâmica dos *hot spots* e *cold spots* entre os cenários de verão e inverno, é possível identificar a ocorrência de quatro padrões distintos na área e estudo, apresentados na Tabela 3.

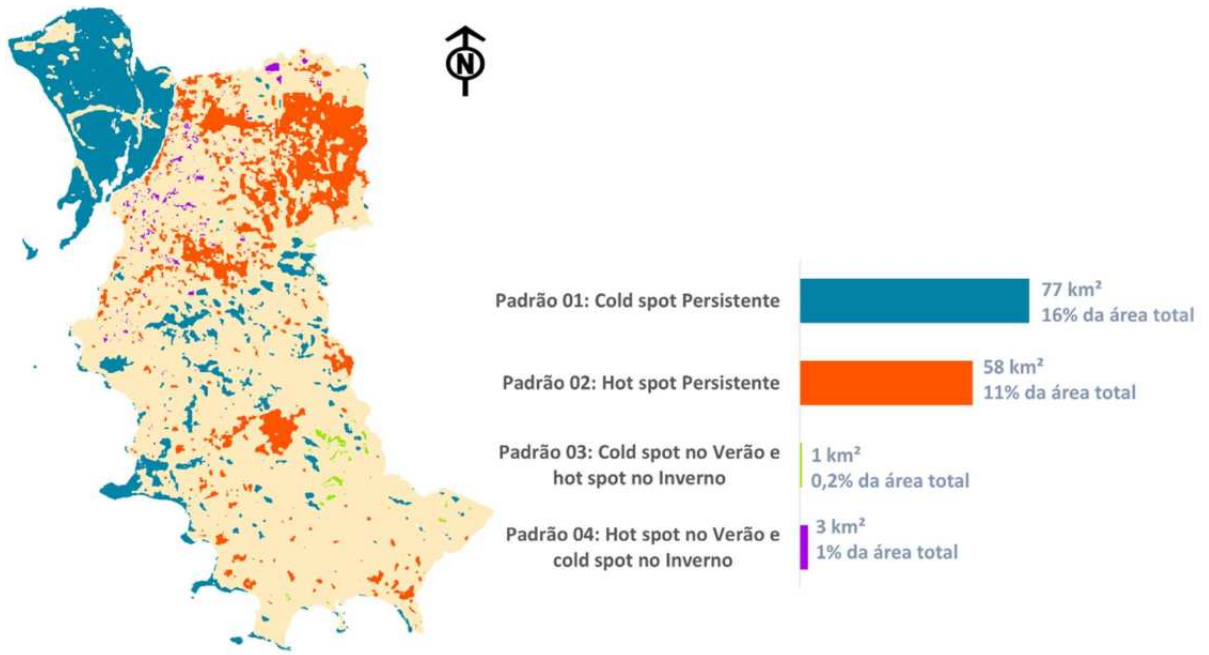
Tabela 3: Área de *hot spots* e *cold spots*.

Padrão	Verão (08/0/2021)	Inverno (01/06/2021)	Área (km²)
01	*Cold spot*	*Cold spot*	*77*
02	*Hot spot*	*Hot spot*	58
03	*Cold spot*	*Hot spot*	1
04	*Hot spot*	*Cold spot*	3

Fonte: os autores.

A dinâmica espacial de hot spots e cold spots entre os cenários de verão e inverno na área de estudo, está ilustrada na Figura 6.

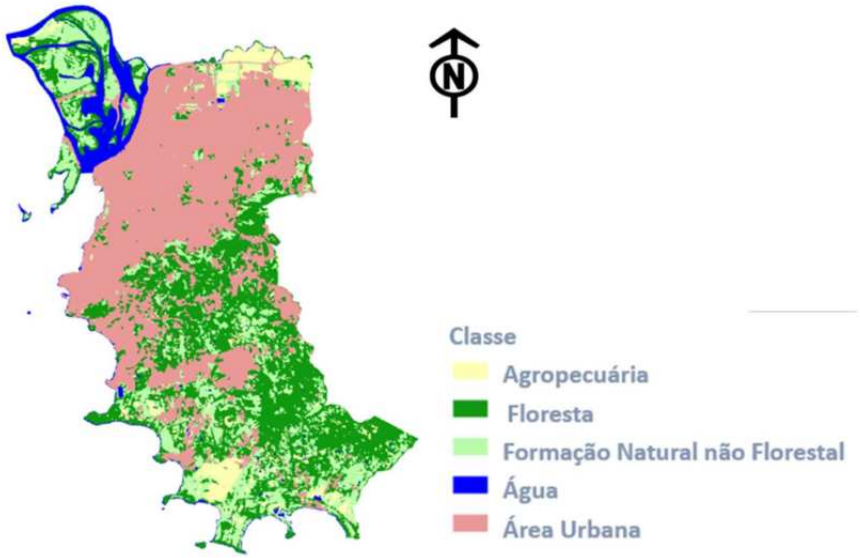
Figura 6: Permanência de *hot spots* e *cold spots* de temperatura superficial



Fonte: os autores.

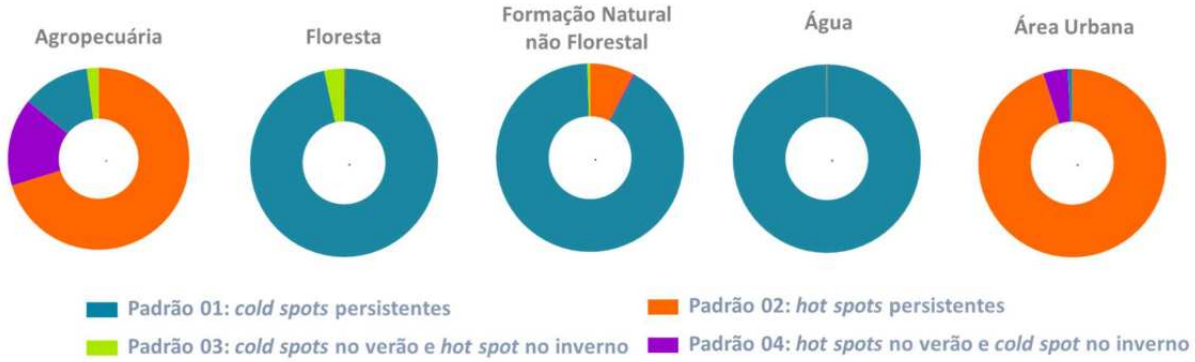
Na Figura 7, estão ilustradas as classes de uso e ocupação do solo da área de estudo. Na Figura 8, são apresentadas as proporções correspondentes a cada um dos padrões relacionados à dinâmica espacial de *hot spots* e *cold spots*, em cada uma das classes de uso e ocupação do solo.

Figura 7: Classes de uso e ocupação do solo no município de Porto Alegre.



Fonte: os autores, com dados de uso e ocupação do solo da plataforma MapBiomas (2022) [18].

Figura 8. Padrões de permanência de *hot spots* e *cold spots* de temperatura superficial por classe de uso e ocupação do solo.



Fonte: os autores

O padrão 01 corresponde às áreas com *cold spots* persistentes, ou seja, que são assim caracterizadas tanto no período de verão, quanto no de inverno. O padrão abrange 16% da área de estudo. Essas áreas estão relacionadas: a locais nos quais são identificadas temperaturas estatisticamente baixas, que ocorrem de maneira espacialmente contínuas; e a áreas fragmentadas, inseridas na malha intraurbana, com potencial de representar ilhas de frescor na cidade. Observa-se que o padrão 1 é o padrão predominante das classes de Floresta, Formação Natural não Florestal e Água, embora sua maior área possa ser observada na classe de Área Urbana.

O padrão 02, por sua vez, corresponde às áreas caracterizadas como *hot spots* tanto no cenário de verão, quanto no de inverno. Estas áreas compreendem 11% da área da cidade. O padrão é predominante na classe de Área Urbana, tendo sua maior área

inserida também nesta classe. Tais áreas podem ser consideradas como locais potenciais para a formação de ilhas de calor, em ambos os cenários estudados. Nesse caso, o gasto energético para a climatização das edificações pode ser maior durante o verão; já no inverno, o aquecimento das superfícies pode contribuir para uma menor necessidade de climatização.

A menor área identificada foi a associada ao padrão 03, no qual são observados *cold spots* no verão e *hot spots* no inverno. Tal padrão pode estar relacionado às áreas agrícolas, nas quais o estágio do cultivo e as condições de umidade no momento da aquisição da imagem podem ser decisivos para a ocorrência padrões diversos de temperaturas superficiais. Também os padrões de umidade da vegetação podem ter grande influência sobre este padrão atípico, que caracteriza apenas 0,2% da área na qual foram identificados padrões de permanência de *hot* e *cold spots*. Entre as classes de uso e ocupação do solo, o padrão tem uma contribuição significativa apenas nas classes de Agropecuária e Floresta.

Por fim, o padrão 04, que caracteriza 1% da área total, é observado nos casos em que se identifica um *hot spot* no cenário de verão e um *cold spots* no cenário de inverno. Observa-se que o padrão tem uma contribuição significativa apenas nas classes de Agropecuária e Área Urbana. Tal ocorrência, ainda que pouco expressiva em termos de área, pode indicar locais problemáticos quanto ao conforto térmico e à necessidade de climatização durante os períodos mais críticos do ano nas áreas urbanas, e quanto aos impactos negativos no microclima, que podem ser ocasionados por sistemas de produção agropecuária pouco orientados à sustentabilidade.

CONCLUSÕES

A análise desenvolvida no presente trabalho, permitiu identificar a dinâmica espacial da ocorrência de padrões relacionados à formação de ilhas de calor e frescor urbanas na cidade de Porto Alegre/RS. Foi possível verificar as semelhanças e divergências, quanto à ocorrência desses padrões, em dias representativos dos cenários de verão e inverno, no ano de 2021.

Os resultados obtidos possibilitam não apenas quantificar áreas potencialmente críticas, mas também identificá-las espacialmente. Na área de estudo, observou-se que as áreas com potencial para formação de ilhas de frescor urbanas situam-se, em sua maioria, na região do arquipélago e em áreas vegetadas inseridas na malha urbana. No centro de maior adensamento urbano, é identificada a maior incidência de áreas com potencial de constituírem ilhas de calor urbanas. Também nessa área, é identificado o padrão térmico de maior criticidade, no qual observa-se a ocorrência de *hot spots*, durante o verão, e de *cold spots,* no inverno, o que pode intensificar a necessidade de climatização das edificações e, consequentemente, do consumo energético.

Nesse sentido, a identificação dos diferentes padrões térmicos pode orientar quanto ao ordenamento do território e às soluções para mitigação de impactos no clima urbano. Adicionalmente, destaca-se que também as áreas que não apresentam

padrões significativos, podem abrigar modelos de ocupação urbana local já implantados, e que se demonstraram eficientes no controle das temperaturas de superfície.

A identificação de áreas prioritárias para estudos detalhados, pode auxiliar na manutenção, criação e alteração de índices construtivos, no planejamento de políticas de arborização pública e privada e nas decisões sobre incentivos construtivos em determinadas zonas, no sentido de aumentar a resiliência urbana e capacidade de resposta aos eventos térmicos extremos.

REFERÊNCIAS

[1] PALME, M.; INOSTROZA, L.; VILLACRESES, G.; LOBATO-CORDERO, A.; CARRASCO, C.. From urban climate to energy consumption. Enhancing building performance simulation by including the urban heat island effect. **Energy Build**. v. 145, p. 107–120, jun. 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.03.069.

[2] ZINZI, M.; CARNIELO, E.; MATTONI, B. On the relation between urban climate and energy performance of buildings. A three-years experience in Rome, Italy. **Appl. Energy**. v. 221, p. 148–160, jul. 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.03.192.

[3] HOWARD, L. **The climate of London: deduced from meteorological observations made in the metropolis**. Londres, 1818.

[4] OLIVEIRA, M. T.; GANEM, K. A.; BAPTISTA, G. M. M. Análise sazonal da relação entre sequestro de carbono e ilhas de calor urbanas nas metrópoles de São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte e Brasília. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 69, n. 4, 2017.

[5] SHI, D.; SONG, J.; HUANG, J.; ZHUANG, C.; GUO, R.; GAO, Y. Synergistic cooling effects (SCEs) of urban green-blue spaces on local thermal environment: A case study in Chongqing, China. **Sustain. Cities Soc**. v. 55, p. 1-16, jan. 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102065.

[6] SAHA, S.; SAHA, A.; DAS, M.; SAHA, A.; SARKAR, R.; DAS, A. Analyzing spatial relationship between land use/land cover (LULC) and land surface temperature (LST) of three urban agglomerations (UAs) of Eastern India. **Remote Sens. Appl. Soc. Environ**. v. 22, n. 100507, abr. 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100507.

[7] PENG, W.; WANG, R.; DUAN, J.; GAO, W.; FAN, Z. Surface and canopy urban heat islands: Does urban morphology result in the spatiotemporal differences? **Urban Clim**. v. 42, n. 101136, mar. 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101136.

[8] WU, W.; YU, Z.; MA, J.; ZHAO, B. Quantifying the influence of 2D and 3D urban morphology on the thermal environment across climatic zones, **Landsc. Urban Plan**. v. 226, n. 104499, out. 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2022.104499.

[9] LOMBARDO, M. **Ilha de Calor nas Metrópoles: O exemplo de São Paulo**. São Paulo, 1985.

[10] YANG, C.; YAN, F.; LEI, X.; DING; X.; ZHENG; Y.; LIU, L.; ZHANG, S. Investigating seasonal effects of dominant driving factors on urban land surface temperature in a snow-climate city in China. **Remote Sens**. v. 1, n. 18, p. 1–19, set. 2020. DOI: https://doi.org/10.3390/RS12183006.

[11] FERREIRA, F.; ANDRADE, W. Urban Climate Assessment of Urban Heat Islands in Brazil based on MODIS remote sensing data. **Urban Climate**. v. 35, nov. 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100726.

[12] ZORZI, L. **A influência dos parques verdes no conforto térmico urbano: estudo de caso em Porto Alegre - RS**. 174 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano e Regional). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

[13] IBGE. Diário Oficial da União DOU, Brasil, 2020. https://doi.org/1677-7042.

[14] INMET. **Estação Meteorológica de Porto Alegre**. 2022. Disponível em: https://bdmep.inmet.gov.br.

[15] GORELICK, N; HANCHER, M.; DIXON, M.; ILYUSHCHENKO, S.; THAU, D.; MOORE, R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone, **Remote Sens. Environ.** v. 202, p. 18–27, dez. 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031.

[16] SAYLER, K.; GLYNN, T. **Landsat 8 Level 2 Science Product (L2SP) Guide**. v. 2, p. 1–43, mar. 2022. Disponível em: https://prd-wret.s3.us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/atoms/files/LSDS-1619_Landsat8-C2-L2-ScienceProductGuide-v2.pdf.

[17] GETIS, A.; ORD, J.K. The Analysis of Spatial Association, **Geogr. Anal.** v. 24, n. 3, p. 189–206, jul. 1992. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1992.tb00261.x.

[18] Projeto MapBiomas **- Coleção 6 da Série Anual de Mapas de Uso e Cobertura da Terra do Brasil**, acessado em jul. 2022, através do link: https://mapbiomas.org/