ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

Conforto térmico urbano: Análise comparativa entre dados de imagens de satélite e câmera termográfica

Urban Thermal Comfort: Comparative Analysis Between Satellite Image Data and Thermographic Camera Data

Larissa de Lara Chaves
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS | Porto Alegre | Brasil | larissa.chavesdl@gmail.com
Maurício C. Ayres Torres
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS | Porto Alegre | Brasil | mauricio.torres@ufrgs.br
Alline Gomes Lamenha e Silva
Instituto Federal de Alagoas - campus Penedo | Penedo | Brasil alline.silva@ifal.edu.br
Natália Tusset
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS | Porto | Brasil | nataliatusset@gmail.com

Resumo

As imagens obtidas por meio de sensoriamento remoto são utilizadas para analisar a temperatura de superfícies, o microclima e as ilhas de calor urbanas, em estudos de conforto térmico e consumo de energia na escala urbana. Por um lado, imagens termais de satélite disponibilizadas gratuitamente geralmente têm uma resolução insuficiente para estudos locais, podendo ocorrer grandes distorções nas temperaturas aferidas. Por outro lado, câmeras termográficas portáteis têm o potencial de medir a temperatura de superfícies com alta precisão. Portanto, o uso conjunto de imagens termais de satélite e de câmeras portáteis têm o potencial de trazer mais precisão e confiabilidade em análises urbanas, quando as superfícies analisadas têm alto grau de heterogeneidade material. Dessa forma, o presente artigo tem como objetivo analisar a relação entre as temperaturas de superfícies medidas in loco e as imagens térmicas obtidas pelos satélites *Landsat* 8 e *Landsat* 9, em escala reduzida. Para isso, foram selecionados pontos de medição na cidade de Porto Alegre, estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Nesses pontos, utilizou-se uma câmera termográfica para gerar imagens das variações de temperatura de superfície do piso, considerando os diferentes materiais no local, elas foram feitas simultaneamente às imagens dos satélites. Os resultados preliminares destacam que a comparação pode variar em função das superfícies e das discrepâncias entre as dimensões dos pixels nas imagens do *Landsat* e da câmera termográfica. No entanto, a análise de superfícies semelhantes indica que o uso de imagens de satélite tem grande potencial para gerar dados a serem utilizados em simulações computacionais de conforto térmico urbano.

Como citar:
CHAVES, L. L. et. al. Conforto térmico urbano: Análise comparativa entre dados de imagens de satélite e câmera termográfica. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto. Ilhas de calor urbana. Temperatura de superfície urbana. Simulação térmica urbana.

Abstract

Remote sensing images can be utilized to analyze surface temperatures, microclimates, and urban heat islands, in studies of thermal comfort and energy consumption at the urban scale. On one hand, freely available thermal satellite images generally have a resolution that is insufficient for local studies, potentially leading to significant distortions in the recorded temperatures. On the other hand, portable thermal cameras have the potential to measure surface temperatures with high precision. Therefore, the combined use of thermal satellite images and portable cameras has the potential to bring greater accuracy and reliability to urban analyses, particularly when the analyzed surfaces have a high degree of material heterogeneity. Therefore, this article aims to analyze the relationship between surface temperatures measured in situ and thermal images obtained by the Landsat 8 and Landsat 9 satellites on a reduced scale. For this purpose, measurement points were selected in the city of Porto Alegre, in the state of Rio Grande do Sul, Brazil. At these points, a thermal camera was used to generate images of surface temperature variations of the ground, considering the different materials present at the location, they were taken simultaneously with the satellite images. Preliminary results highlight that the comparison can vary depending on the surfaces and the discrepancies between the pixel dimensions in the Landsat images and those of the thermal camera. However, the analysis of similar surfaces indicates that the use of satellite images has great potential to generate data for use in computational simulations of urban thermal comfort.

Keywords: Remote Sensing. Urban heat islands. Urban Surface Temperature. Urban Thermal Simulation.

INTRODUÇÃO

A urbanização é uma tendência crescente que deve persistir nas próximas décadas, prevendo-se um aumento significativo de 2,2 bilhões de pessoas migrando para áreas urbanas [1]. Estudos indicam que, até 2050, 70% da população mundial estará vivendo em áreas urbanas [1]. No entanto, essa mudança global em direção à vida urbana não ocorrerá de forma uniforme em todas as regiões, segundo o relatório "World Cities Report 2022: Envisaging the Future of Cities" (2022) [2], espera-se que áreas altamente urbanizadas e desenvolvidas estabilizem ou até diminuam seu crescimento urbano, em contraste com a rápida expansão observada em países em desenvolvimento e economias emergentes como Índia, China e Brasil. Esse desequilíbrio é intensificado pelo fato de que aproximadamente metade da produção de construção do mundo ocorre nessas regiões, resultando em crescimento substancial da população, urbanização acelerada e melhoria dos padrões de vida [3]. Entre os impactos associados à expansão das áreas urbanas e ao crescimento demográfico, são observados a reutilização do solo e o consequente desmatamento de áreas afetadas [4]. Destaca-se, também, o consumo energético dos edifícios, que representa mais de 40% do consumo total e um terço das emissões de gases de efeito estufa [5]. O aumento da urbanização e da construção levou a mudanças significativas no conforto térmico urbano [6], como o aumento das temperaturas, a diminuição da qualidade do ar e a redução dos espaços verdes naturais [7]. Desta forma, entende-se que analisar e compreender as mudanças provocadas pelo crescimento da urbanização é

fundamental para atenuar os possíveis impactos negativos na saúde e no bem-estar dos seres humanos, considerando a influência do conforto térmico urbano [8]. Diversos modelos e técnicas de simulação têm sido empregados para entender melhor o impacto da urbanização no conforto térmico [9].

O uso do modelo de simulação de energia urbana representa uma ferramenta essencial e eficaz para calcular, visualizar e analisar o consumo de energia de edifícios em áreas urbanas, seja em escala de distrito ou de toda a cidade [10]. Esse modelo também desempenha um papel fundamental no desenvolvimento de estratégias de planejamento urbano que visam a sustentabilidade, como o planejamento verde, ecológico e de baixa emissão de carbono, e pode guiar a formulação de políticas de gestão de energia em ambientes urbanos [11].

Nesse contexto, a análise comparativa entre dados de sensoriamento remoto e imagens termográficas constitui uma ferramenta essencial para o estudo e avaliação do conforto térmico urbano [12]. Ambos os métodos proporcionam informações valiosas sobre as variações espaciais e temporais da temperatura da superfície e a distribuição de calor nas áreas urbanas [13]. Essa abordagem comparativa é significativa para arquitetos, urbanistas e pesquisadores permitindo a realização de simulações para prever problemas climáticos e energéticos, influenciado as decisões informadas sobre o desenvolvimento urbano, infraestrutura verde e estratégias de mitigação para eventos de calor extremo [14]. Adicionalmente, simulações que integram dados de sensoriamento remoto ou imagens termográficas facilitam a identificação de ilhas de calor, fontes de calor e padrões térmicos em ambientes urbanos [15].

Diversos estudos utilizam dados de sensoriamento remoto, especialmente imagens de satélite, para avaliar o impacto das mudanças no uso do solo e dos padrões de paisagem no conforto térmico urbano. Alguns desses estudos combinam fatores como ângulo solar, altura dos edifícios e obstrução para analisar a distribuição espacial das sombras e seu impacto nas temperaturas da superfície terrestre (LST). Em um estudo sobre essa questão Saher et al. 2021 [16], utiliza dados do *Landsat*-8 para calcular a emissividade e entender como as superfícies impermeáveis respondem ao sombreamento em comparação com pixels de vegetação. Outros estudos modificam índices tradicionais de temperatura-umidade com dados de sensoriamento remoto para avaliar o conforto térmico em uma escala menor, destacando a importância das métricas da paisagem no planejamento urbano. Além disso, diversos estudos investigam o impacto do uso do solo em propriedades superficiais como albedo e evapotranspiração utilizando técnicas de sensoriamento remoto e SIG, o estudo de Imran et al. 2022 [17], evidencia as mudanças nos padrões de uso do solo e sua correlação com a temperatura da superfície terrestre, demonstrando como a urbanização provoca um aumento significativo nas temperaturas da superfície e reduz o conforto térmico humano. Por fim, artigos também utilizam tecnologias LIDAR e TIR para estimar a temperatura média radiante, destacando o estudo de Chen et al. 2016 [18], que combinou os dados do modelo digital de superfície obtidos pelo LIDAR com imagens de infravermelho térmico. Essas medições são calibradas com leituras de superfície para fornecer uma compreensão abrangente das condições

biometeorológicas em áreas urbanas. Medições in loco não apresentam um uso recorrente em estudos, apesar de oferecerem maior detalhamento sobre a temperatura urbana, a limitação é atribuída a disponibilidade de recursos e a necessidade de equipamentos sofisticados como câmeras termográficas [19]. Estudos que utilizam imagens termográficas concentram-se em realizar análises detalhadas da distribuição de temperatura em várias superfícies urbanas. O artigo produzido por Yu et al. 2020 [20], utiliza câmeras de infravermelho térmico para capturar termografias e quantificar o fluxo de calor sensível, destacando a importância das superfícies impermeáveis como fontes de calor e das superfícies naturais como elementos refrigerantes. Essas investigações possibilitam a análise de formas para mitigar o efeito das ilhas de calor urbano e reduzir o consumo de energia para resfriamento. Alguns artigos avaliam o efeito de resfriamento dos rios em relação aos padrões espaciais urbanos por meio da recuperação da LST e análise estatística. Um artigo com grande destaque de Kelly Turner et al. 2022 [21], discute as limitações do uso da LST derivada de sensoriamento remoto como um proxy para orientar a mitigação do calor em escalas hiperlocais. Este estudo combina análise de dados de sensoriamento remoto, observações *in situ*, simulações microclimáticas e caracterização de imagens para compreender a complexidade das questões relacionadas ao calor urbano e a eficácia de superfícies de alto albedo em fornecer benefícios de conforto localizados.

A utilização de dados de sensoriamento remoto e imagens termográficas na avaliação do conforto térmico urbano tem mostrado um grande potencial para oferecer informações sobre como a temperatura e as condições térmicas se distribuem nas áreas urbanas [13]. Além disso, essas ferramentas podem ajudar a identificar ilhas de calor urbanas, áreas com temperaturas elevadas devido às atividades humanas e características da paisagem [22]. No entanto, é importante reconhecer as limitações do uso de dados de sensoriamento remoto e imagens termográficas na análise de microclimas urbanos e condições térmicas. Estas limitações incluem a dificuldade em capturar variações locais no conforto térmico e a necessidade de dados de validação em campo para confirmar as medições remotas [23]. Dessa forma, foi possível identificar uma lacuna significativa em torno de análises da correlação e tendência entre dados de sensoriamento remoto e imagens termográficas in loco, pois as imagens de satélite abrangem padrões de temperatura, mas não possuem o detalhe granular das medições in loco. As imagens termográficas in loco, embora detalhadas, possuem um acesso limitado. O objetivo deste artigo é conduzir uma investigação preliminar sobre as tendências e correlações entre as temperaturas de superfície medidas in loco e as imagens térmicas obtidas pelos satélites *Landsat* 8 e *Landsat* 9 em uma escala local para verificar o potencial de utilização conjunta das informações obtidas a fim de calibrar modelos computacionais para simulações térmicas e energéticas. A análise será concentrada em pontos de medição selecionados em Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

Metodologia

ÁREA DE ESTUDO

A cidade de Porto Alegre, localizada no estado do Rio Grande do Sul, foi escolhida como foco deste estudo, especificamente a região conhecida como 4º Distrito. No século XX, essa área era um distrito industrial e o principal centro econômico da cidade [24]. Atualmente, o 4º Distrito enfrenta degradação urbana, caracterizada por grandes vazios urbanos, lotes subutilizados e escassez de áreas vegetadas, fatores que contribuem para o aumento da temperatura de superfície. Conforme Silva et al. (2022) [25], esta região exibe muitos *hotspots* durante o verão, sugerindo a formação de uma ilha de calor. Assim, os pontos de medição foram selecionados com base em estudos futuros planejados para a área configurando uma a área de estudo, que foi delimitada pelas vias Av. Maranhão, Av. Pernambuco, Av. Polônia, R. Ernesto da Fontoura e Av. Farrapos, no bairro São Geraldo (Figura 01).

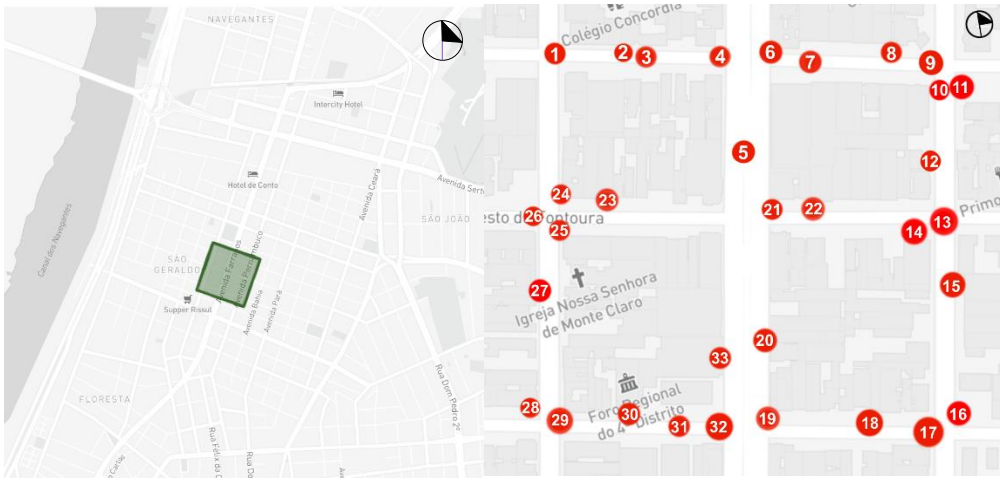


Figura 1 - Nota: Localização da área de estudos e pontos. Fonte: Autora.

EQUIPAMENTOS E LEVANTAMENTOS DE DADO

As temperaturas de superfície foram medidas em pontos específicos utilizando a câmera termográfica FLIR-E6390 da série FLIR Ex, para registrar as diferenças térmicas em vários materiais presentes nas ruas e calçadas das áreas urbanas. As medições in loco foram realizadas em 53 pontos dentro da área de estudo, a uma distância de um 1m do solo, para avaliar as variações térmicas em diferentes materiais de rua. Para garantir uma comparação precisa, as imagens da câmera termográfica foram capturadas levando em consideração tanto o horário quanto o dia de passagem dos satélites *Landsat* 8 e 9 pela área de estudo. Desta forma, a coleta de dados ocorreu nos dias 25 de janeiro, 2, 10, 18 de fevereiro e 5 de março de 2024 (13:00 GMT, 10:00 no horário de Brasília). A escolhas dos satélites *Landsat* 8 e *Landsat* 9, deu-se devido à disponibilidade gratuita das imagens e boa resolução temporal (intervalo de 8 dias). Foram utilizadas especificamente as imagens termais obtidas pelos satélites, disponíveis na Coleção 2, Nível 2*evel-2*, que incluem correção atmosférica e possuem uma resolução de 30 x 30 metros por pixel. A cena que abrange o local de estudo refere-se ao ponto 81 da órbita 221. É importante ressaltar que as medições dos dias 26 de fevereiro e 21 de março não puderam ser aproveitadas, uma vez que se observou

uma significativa cobertura de nuvens, o que compromete a qualidade do dado obtido por sensoriamento remoto.

MÉTODOS DE PROCESSAMENTO E ANÁLISE

Inicialmente, nos *pixels* em que mais de um ponto de medição in loco foram observados, foi calculada uma média simples das temperaturas desses pontos, resultando na redução do conjunto de dados de 53 para 33 pontos. A temperatura média da superfície foi estimada a partir da banda termal dos satélites *Landsat* 8 e 9, por meio da seguinte equação (Equação 01):

$$L\,\lambda' = ML \times Qcal + AL \text{ (01)} \qquad \text{Equação 01}$$

Onde $L\,\lambda'$ representa a radiância espectral no topo da atmosfera (w.m-².sr-1.µm-1), ML é o fator multiplicativo de redimensionamento da banda 10, AL é o fator de redimensionamento aditivo específico da banda 10, e $Qcal$ é o valor quantizado calibrado pelo *pixel*. Para converter a temperatura de Kelvin para Celsius, foi utilizada a equação (Equação 02):

$$TS = L\,\lambda' - 273,15 \qquad \text{Equação 02}$$

O resultado desses procedimentos gera uma imagem com a temperatura de superfície (TS) média, em graus Celsius, para cada pixel. As imagens de satélite foram processadas no software QGIS (*Quantum Geographic Information System*), permitindo a criação de mapas temáticos das imagens com informações de TS. As imagens termográficas obtidas in loco com a câmera termográfica foram processadas utilizando o software *Flir Tools*.

RESULTADOS

A fim de realizar uma análise mais estruturada e compreensiva das tendências de temperatura, facilitando a identificação de padrões e anomalias específicas para cada ponto de medição, os resultados foram apresentados em três grupos: o primeiro grupo aborda as tendências correspondentes; o segundo grupo refere-se a tendências correspondentes com variações anômalas; o último grupo compreende pontos com tendência não correspondente. Os dados foram compilados conforme o dia da medição, o ponto de medição, a temperatura média de superfície (obtida com a câmera termográfica) e a temperatura média de superfície do pixel do satélite correspondente. Sendo assim, foram considerados 33 pontos para cada dia de medição. Para visualizar as tendências de temperatura, foram elaborados gráficos individuais para cada um dos 33 pontos de medição. Ao separar os gráficos nos grupos, é possível realizar uma análise mais estruturada e compreensiva das tendências de

temperatura, facilitando a identificação de padrões e anomalias específicas para cada ponto de medição.

Em cada gráfico, o eixo das abscissas representa os dias das medições e o eixo das ordenadas indica a média da temperatura de superfície. A linha azul nos gráficos corresponde à média da temperatura de superfície derivada das imagens de satélite, enquanto a linha laranja reflete as medições da temperatura média de superfície obtidas in loco com a câmera termográfica.

TENDÊNCIA SEMELHANTE

Os gráficos que se configuram como tendência semelhante representam os pontos em que a temperatura média da superfície medida in loco e a temperatura média da superfície das imagens de satélite apresentam o mesmo comportamento ao longo dos dias computados. Esses gráficos demonstram uma correspondência clara entre os dois conjuntos de dados, indicando que as temperaturas, embora medidas de formas distintas, apresentam tendências similares (Figura 02 e 03). Em outros termos, as temperaturas aumentam e diminuem de maneira análoga ao longo dos dias, variando conjuntamente e refletindo padrões similares.



Figura 2 - Nota: Gráficos dos pontos 01, 04, 06, 07, 09, 10, 11 e 16. Fonte: Autora.



Figura 3 - Nota: Gráficos dos pontos 17, 18, 22, 23, 26, 27, 28 e 29. Fonte: Autora.

Ao comparar as variações das temperaturas obtidas pela câmera termográfica e pela imagem de sensoriamento remoto em um ponto específico ao longo dos dias medidos, observa-se a mesma tendência de variação, seja ela positiva ou negativa. Essa correlação observada nos referidos pontos de medição sugere que ambos os métodos refletem consistentemente as variações térmicas da área estudada.

Tendência Semelhantes com Variações Anômalas

Os gráficos classificados nesse grupo refletem uma situação em que, de maneira geral, há uma tendência semelhante consistente entre as medições realizadas in loco e as

obtidas por satélite. No entanto, surgem variações anômalas em alguns dias específicos, onde as temperaturas podem divergir temporariamente — apresentando um comportamento inverso, quando uma eleva, a outra reduz. Essas discrepâncias pontuais podem ser atribuídas a fatores locais particulares, como mudanças na paisagem urbana ou características específicas do ambiente local. É importante ressaltar que, apesar das discrepâncias de tendências ou variações anômalas observadas, a tendência geral sugere uma variação semelhante entre as medições in loco e por satélite (Figura 04).



Figura 4 - Nota: Gráficos dos pontos 02, 05, 08, 12 e 14. Fonte: Autora.

As divergências observadas nos pontos 02, 05, 08, 12 e 14 podem ser atribuídas a várias causas. No caso dos pontos 02 e 08, as variações nas condições ambientais locais, como exposição solar, padrões de vento e presença de fontes de calor ou estruturas, podem influenciar significativamente as medições de temperatura, resultando em discrepâncias entre os dados obtidos in loco e os dados de satélite. Já no ponto 12, a divergência observada pode ser atribuída ao método de cálculo da média simples, que pode não refletir com a medição de um único pixel do satélite.

TENDÊNCIA DIVERGENTE

Nesta seção são apresentados os gráficos onde a temperatura média da superfície medida in loco e a temperatura das imagens de satélite não apresentam o mesmo comportamento ao longo dos dias. Esses gráficos revelam divergências entre os dois conjuntos de dados, sugerindo possíveis limitações nas metodologias de medição ou influências de fatores ambientais que afetam as medições (Figura 5 e Figura 6).



Figura 5 - Nota: Gráficos dos pontos 03, 13, 15, 19, 20, 21, 24 e 30. Fonte: Autora.



Figura 6 - Nota: Gráficos dos pontos 31, 32 e 33. Fonte: Autora.

Diversos pontos, como 19, 21, 24, 30, 32, e 33, apresentaram divergências devido ao sombreamento causado por barreiras físicas ou vegetação, impactando as medições de temperatura. Para o ponto 03 e 13, a medição não foi considerada nas análises finais, uma vez que as imagens termográficas in loco foram realizadas em locais diferentes durante o período de medição. O ponto 15 e o ponto 31 mostraram discrepâncias significativas no dia 05/03. Nesse dia presença de nuvens pode ter causado a quebra de tendências observada nos dados provenientes das imagens de satélite.

Dessa forma, fatores como sombreamento (Figura 07), variabilidade ambiental local e condições meteorológicas adversas (como a presença de nuvens e vento) podem ser as principais causas das divergências entre os dados de sensoriamento remoto e as medições in loco.

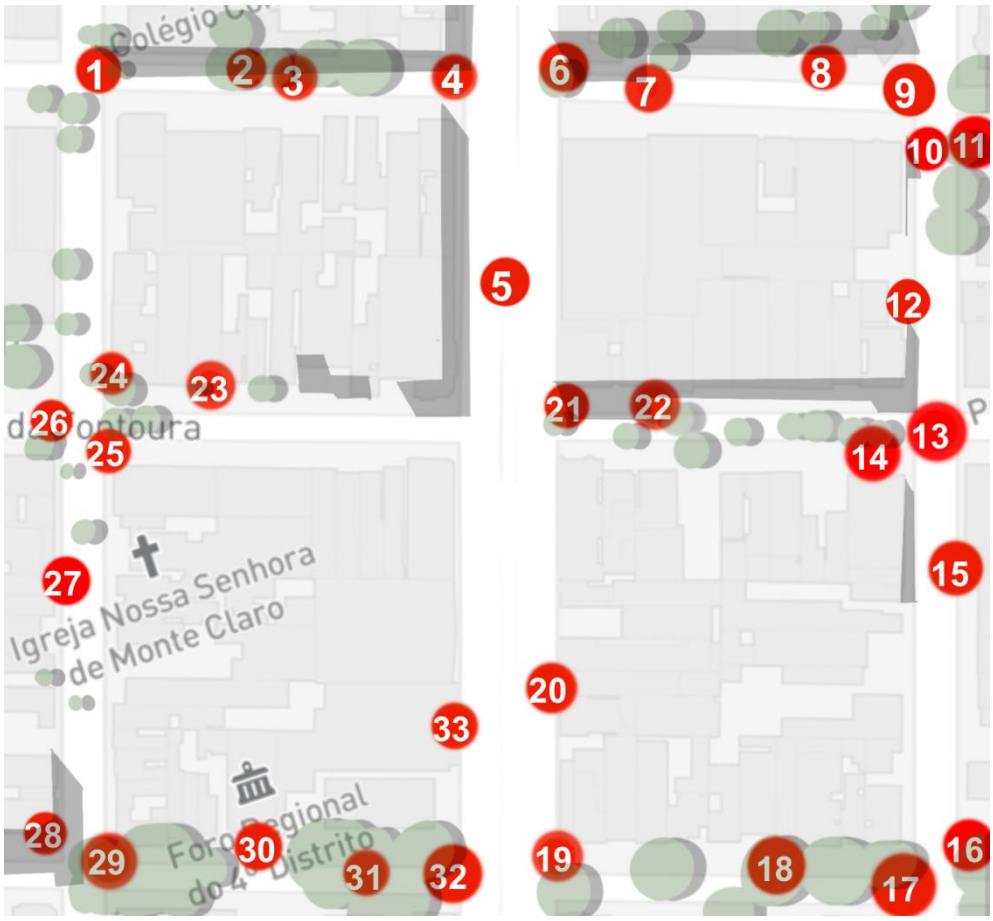


Figura 7 - Nota: Estudo de sombreamento. Fonte: Autora.

CONCLUSÃO

Este artigo explorou, de maneira preliminar, as correspondências entre as médias das temperaturas de superfície medidas in loco e as obtidas por sensoriamento remoto, utilizando os satélites *Landsat* 8 e *Landsat* 9. Os resultados indicam que, embora existam discrepâncias e variações anômalas, as tendências semelhantes encontradas em vários pontos de medição mostram que ambos os métodos são valiosos para a análise do conforto térmico urbano por meio de simulações. Essas discrepâncias podem ser atribuídas a fatores ambientais locais, como sombreamento, presença de barreiras físicas, e condições meteorológicas adversas, além da diferença nas escalas de medição entre a câmera termográfica e os pixels das imagens de satélite. Para futuras pesquisas, recomenda-se realizar o mapeamento detalhado das áreas cobertas por cada pixel das imagens de satélite (30m x 30m), juntamente com um aumento no número de pontos de medição in loco. Esse mapeamento permitirá uma comparação mais precisa e robusta entre os dados térmicos capturados por diferentes métodos, proporcionando uma compreensão mais completa dos dados e a avaliação estatística da correlação entre os resultados dos dois métodos de obtenção dos dados. Em conclusão, este estudo preliminar demonstra que a combinação de medições in loco com imagens de satélite pode fornecer informações complementares e valiosas para simulações computacionais, indicando tendências semelhantes e permitindo uma análise mais abrangente do conforto térmico urbano.

REFERÊNCIAS

[1] MONTEIRO, F. F. et al. Assessment of Urban Heat Islands in Brazil based on MODIS remote sensing data. **Urban Climate**, v. 35, p. 100726, jan. 2021.

[2] UNITED NATIONS HUMAN SETTLEMENTS PROGRAMME (UN-HABITAT). **World Cities Report 2022 Envisaging the Future of Cities**. Nairobi: [s.n.].

[3] SANTAMOURIS, M.; VASILAKOPOULOU, K. Present and Future Energy Consumption of Buildings: Challenges and Opportunities towards Decarbonisation. **e-Prime**, p. 100002, out. 2021.

[4] SETO, K. C.; GÜNERALP, B.; HUTYRA, L. R. Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 109, n. 40, p. 16083–16088, 2 out. 2012.

[5] CHALAL, M. L. et al. Energy planning and forecasting approaches for supporting physical improvement strategies in the building sector: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 64, p. 761–776, out. 2016.

[6] XIONG, Y. et al. The Impacts of Rapid Urbanization on the Thermal Environment: A Remote Sensing Study of Guangzhou, South China. **Remote Sensing**, v. 4, n. 7, p. 2033–2056, 6 jul. 2012.

[7] DALLIMER, M. et al. The extent of shifts in vegetation phenology between rural and urban areas within a human-dominated region. **Ecology and Evolution**, v. 6, n. 7, p. 1942–1953, 24 abr. 2016.

[8] PENG, J. et al. Urban thermal environment dynamics and associated landscape pattern factors: A case study in the Beijing metropolitan region. **Remote Sensing of Environment**, v. 173, p. 145–155, fev. 2016.

[9] FARRELL, K. The Rapid Urban Growth Triad: A New Conceptual Framework for Examining the Urban Transition in Developing Countries. **Sustainability**, v. 9, n. 8, p. 1407, 9 ago. 2017.

[10] SOLA, A. et al. Simulation Tools to Build Urban-Scale Energy Models: A Review. **Energies**, v. 11, n. 12, p. 3269, 23 nov. 2018.

[11] SHI, Z.; FONSECA, J. A.; SCHLUETER, A. A review of simulation-based urban form generation and optimization for energy-driven urban design. **Building and Environment**, v. 121, p. 119–129, ago. 2017.

[12] DENG, Y. et al. **Exploring The Effects Of local Environment On Population Distribution: Using Imagery Segmentation Technology And Street View**. 2020 Asia-Pacific Conference on Image Processing, Electronics and Computers (IPEC). **Anais**...IEEE, abr. 2020.

[13] WENG, Q. Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: Methods, applications, and trends. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 64, n. 4, p. 335–344, jul. 2009.

[14] XU, L. et al. Identifying the trade-offs between climate change mitigation and adaptation in urban land use planning: An empirical study in a coastal city. **Environment International**, v. 133, p. 105162, dez. 2019.

[15] HUO, H.; CHEN, F. A Study of Simulation of the Urban Space 3D Temperature Field at a Community Scale Based on High-Resolution Remote Sensing and CFD. **Remote Sensing**, v. 14, n. 13, p. 3174, 1 jul. 2022.

[16] SAHER, R.; STEPHEN, H.; AHMAD, S. Effect of land use change on summertime surface temperature, albedo, and evapotranspiration in Las Vegas Valley. **Urban Climate**, v. 39, p. 100966, set. 2021.

[17] IMRAN, H. M. et al. Land surface temperature and human thermal comfort responses to land use dynamics in Chittagong city of Bangladesh. **Geomatics, Natural Hazards and Risk**, v. 13, n. 1, p. 2283–2312, 31 dez. 2022.

[18] CHEN, Y.-C. et al. Modeling of mean radiant temperature based on comparison of airborne remote sensing data with surface measured data. **Atmospheric Research**, v. 174–175, p. 151–159, jun. 2016.

[19] AZAD, S. P. et al. **An ad-hoc implementation of a remote laboratory**. 2015 IEEE International Conference on Microelectronics Systems Education (MSE). **Anais**...IEEE, maio 2015.

[20] YU, Z. et al. Quantifying seasonal and diurnal contributions of urban landscapes to heat energy dynamics. **Applied Energy**, v. 264, p. 114724, abr. 2020.

[21] KELLY TURNER, V. et al. More than surface temperature: mitigating thermal exposure in hyper-local land system. **Journal of Land Use Science**, v. 17, n. 1, p. 79–99, 2 jan. 2022.

[22] WANG, M. et al. A Coarse-to-Fine Deep Learning Based Land Use Change Detection Method for High-Resolution Remote Sensing Images. **Remote Sensing**, v. 12, n. 12, p. 1933, 15 jun. 2020.

[23] YAO, X. et al. Land Use Classification of the Deep Convolutional Neural Network Method Reducing the Loss of Spatial Features. **Sensors**, v. 19, n. 12, p. 2792, 21 jun. 2019.

[24] MARX, V.; ARAÚJO DE OLIVEIRA, G.; DE SOUZA, V. Relação global-local e transformação urbana no 4º distrito de Porto Alegre. **Revista Política e Planejamento Regional**, p. 273–296, maio 2021.

[25] SILVA, A. G. L.; TORRES, M. C. A. Proposing an effective and inexpensive tool to detect urban surface temperature changes associated with urbanization processes in small cities. **Building and Environment**, v. 192, p. 107634, abr. 2021.