XVIII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
XIV ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
AMBIENTE CONSTRUÍDO E USUÁRIO: PERSPECTIVAS LATINO-AMERICANAS

Modelagem urbana para análise das ilhas de calor urbanas em São Caetano do Sul - SP

Modelación urbana para análisis de islas de calor urbanas en São Caetano do Sul - SP

Urban modeling for analysis of urban heat islands in São Caetano do Sul - SP

Clima e Planejamento Urbano / *Clima y planificación urbana / Climate and Urban Planning*

Osaki, Camila Mayumi Nakata (1); Moro Junior, Enio (2); Vitale, Silvia Pereira de Sousa Mendes (3); Borsoi, Luis Fernando (4); Pereira, Vinícius Fornagiero (5); Silva, Vanessa Alexandra Rodrigues da (6); Arruda, Victor Fernando Aires (7)

(1) Doutora, Universidade Municipal de São Caetano do Sul - USCS, São Caetano do Sul, Brasil, camila.osaki@online.uscs.edu.br

(2) Doutor, Universidade Municipal de São Caetano do Sul - USCS, São Caetano do Sul, Brasil, enio.junior@online.uscs.edu.br

(3) Doutora, Universidade Municipal de São Caetano do Sul - USCS, São Caetano do Sul, Brasil, silvia.vitale@online.uscs.edu.br

(4) Mestre, Universidade Municipal de São Caetano do Sul - USCS, São Caetano do Sul, Brasil, luis.borsoi@online.uscs.edu.br

(5) Mestre, Universidade Municipal de São Caetano do Sul - USCS, São Caetano do Sul, Brasil, fornagiero.vinicius@gmail.com

(6) Graduanda, Universidade Municipal de São Caetano do Sul - USCS, São Caetano do Sul, Brasil, vanessa.silva@uscsonline.com.br

(7) Graduando, Universidade Municipal de São Caetano do Sul - USCS, São Caetano do Sul, Brasil, victor.arruda@uscsonline.com.br

Resumo

Este trabalho tem o objetivo de aplicar técnicas de modelagem urbana para o município de São Caetano do Sul, analisando-se as ilhas de calor urbanas a partir da Temperatura da Superfície Terrestre (*Land Surface Temperature*, LST), utilizando ferramentas de Sistema de Informação Geográfica (SIG). Após aplicar uma sequência de técnicas no software ArcGIS Pro, foi obtido um mapa de LST para São Caetano do Sul, a partir do qual verificou-se a influência de áreas verdes nas menores temperaturas e o impacto de áreas industriais em maiores temperaturas. Esse é um resultado preliminar de um projeto de pesquisa em políticas públicas que pretende: construir uma base de dados SIG do município; estimar impactos do crescimento da cidade no clima urbano; e contribuir para o processo de revisão do Plano Diretor Estratégico.

Palavras-chave: Modelagem urbana. Clima urbano. Sistema de Informação Geográfica. Plano Diretor Estratégico.

Resumen

Este trabajo tiene como objetivo aplicar técnicas de modelado urbano en el municipio de São Caetano do Sul, analizando las islas de calor urbanas a partir de la Temperatura Superficial Terrestre (Land Surface Temperature, LST), utilizando herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Tras aplicar una secuencia de técnicas en el software ArcGIS Pro, se generó un mapa de LST para São Caetano do Sul, a partir del cual se observó la influencia de las áreas verdes en la disminución de las temperaturas y el impacto de las zonas industriales en su aumento. Este es un resultado preliminar de un proyecto de investigación en políticas públicas que tiene como objetivos: construir una base de datos SIG del municipio; estimar los impactos del crecimiento urbano en el clima local; y contribuir al proceso de revisión del Plan Director Estratégico.

Palabras clave: Modelado urbano. Clima urbano. Sistema de Información Geográfica. Plan Maestro Estratégico.

Abstract

This study aims to apply urban modeling techniques to the municipality of São Caetano do Sul, analyzing urban heat islands based on Land Surface Temperature (LST), using Geographic Information System (GIS) tools. After applying a sequence of techniques in ArcGIS Pro software, an LST map was generated for São Caetano do Sul, from which the influence of green areas on lower temperatures and the impact of industrial areas on higher temperatures was observed. This is a preliminary result of a public policy research project that aims to: build a GIS database for the municipality; estimate the impacts of urban growth on the local climate; and contribute to the revision process of the Strategic Master Plan.

Keywords: Urban modeling. Urban climate. Geographic Information System. Strategic Master Plan.

Introdução e Fundamentação

O processo de urbanização acelerado fez aumentar as discussões do impacto das alterações do ambiente pelo homem nas mudanças climáticas e na proposição de políticas públicas que sejam capazes de oferecer infraestrutura urbana adequada para o ritmo de crescimento das cidades. Pensar em cidades sustentáveis exige que ciência e gestão pública trabalhem de forma colaborativa e integrada, considerando a importância da interdisciplinaridade como componente chave para resoluções de problemas e tomadas de decisões de maior alcance.

Nesse sentido, esta proposta tem o objetivo de contribuir para a revisão do Plano Diretor Estratégico de São Caetano do Sul - SP (PDE 2016/2025, Lei Nº 5.374, de 09 de dezembro de 2015), através da modelagem urbana, analisando-se os impactos do crescimento da cidade no clima urbano. O município de São Caetano do Sul se estende por 15,4 km² e conta com 165.655 habitantes, sendo 10.805 habitantes por km² (Censo 2022), integrando a região metropolitana de São Paulo e pertencendo à região do ABC Paulista, a qual foi marcada pelo desenvolvimento industrial e automobilístico. Situa-se a 751 metros de altitude e tem as seguintes coordenadas geográficas: Latitude: 23° 37' 21'' Sul, Longitude: 46° 32' 56'' Oeste (CIDADE-BRASIL), o clima da cidade é subtropical úmido, com verão pouco quente e chuvoso e inverno ameno e com menos chuva. A média de temperatura anual é de 19,5 ºC e o índice pluviométrico anual fica em torno de 1447 mm (CLIMATE-DATA.ORG).

O método de modelagem urbana, neste estudo, consiste na coleta e sistematização de dados urbanos Sistema de Informações Geográficas (SIG), permitindo sua manipulação numérica e gráfica para a geração de cenários urbanos. Dessa forma, representa um recurso potencial de suporte à decisão no âmbito da governança e gestão pública. Segundo Polidori et al. (2020), a modelagem urbana tem se consolidado como uma importante ferramenta para a compreensão das dinâmicas urbanas, por meio da representação parcial da realidade e da realização de simulações e experimentos.

Considerando-se que a detecção direta das ilhas de calor urbanas (ICU) do ar é frequentemente limitada pela insuficiência de detalhamento espacial para fins de planejamento urbano, a estimativa indireta da temperatura do ar, a partir de observações por imagens de satélite tem ganhado crescente relevância. As diferenças de ICU na superfície e no ar e o momento de seus picos dependem das propriedades da superfície urbana e rural (por exemplo, umidade, rugosidade aerodinâmica, albedo, emissividade e admitância térmica), da estação do ano, da geografia e das condições climáticas predominantes. Segundo

Zhou et al. (2019), a ilha de calor urbana de superfície (SUHI), que representa a diferença da temperatura da superfície terrestre (LST) na relatividade urbana em relação às superfícies não urbanas vizinhas, é geralmente medida usando dados de LST de satélite.

Objetivo

Este trabalho tem o objetivo de aplicar técnicas de modelagem urbana para o município de São Caetano do Sul, analisando-se as ilhas de calor urbanas a partir da Temperatura da Superfície Terrestre (*Land Surface Temperature, LST*), utilizando ferramentas de Sistema de Informação Geográfica (SIG).

Metodologia

O projeto como um todo consideram os procedimentos metodológicos: levantamento de dados climáticos, armazenamento e organização da base de dados, modelagem e simulações computacionais, utilizando o software ArcGIS. A vetorização das construções existentes no município está em fase de elaboração para que possa servir de base para análises mais detalhadas da influência da geometria urbana nas intensidades de ilhas de calor urbanas.

Para este trabalho foi utilizado uma sequência de técnicas dentro do software ArcGIS Pro para a obtenção da Temperatura da Superfície Terrestre (*Land Surface Temperature, LST*). O mapa de LST foi obtido para São Caetano do Sul através das bandas 10 (faixa térmica do infravermelho), 5 (infravermelho próximo) e 4 (vermelho) do Landsat 9, obtidas via USGS (para o dia 15.03.2024). Com o uso da banda 10 obtivemos a Radiância de Topo de Atmosfera (*Top of Atmosphere Radiance*) através da Eq. 1:

$$L\lambda = ML * Qcal + AL \qquad \text{(Eq. 1)}$$

Lλ = Radiância de Topo de Atmosfera (Watts/(m2 * srad * µm))
ML = Fator multiplicativo de reescalonamento específico da banda, dos metadados
AL = Fator aditivo de reescalonamento específico da banda, dos metadados
Qcal = Quantized and calibrated standard product pixel values (Banda 10)

Em seguida, a Temperatura de Brilho de Topo de Atmosfera (*Top of Atmosphere Brightness Temperature*) pela Eq. 2:

$$BT = K2 / \ln((K1/L\lambda)+1) - 273.15 \qquad \text{(Eq. 2)}$$

BT = Temperatura de Brilho de Topo de Atmosfera (ºC)

K1 = Constante de conversão termal específica da banda, dos metadados
K2 = Constante de conversão termal específica da banda, dos metadados

Através do uso das bandas 4 e 5 foi gerado o NDVI da área (Eq. 3):

$$NDVI = (NIR-RED)/(NIR+RED) \qquad \text{(Eq 3)}$$

NDVI: Índice de diferença de vegetação normalizado (*Normalized difference vegetation index*)
NIR = Banda de infravermelho próximo (*Near infrared*)
RED = Banda de vermelho

e, com o uso deste, o mapa de proporção de vegetação (Eq. 4):

$$Pv = ((NDVI - NDVImin)/(NDVImax - NDVImin))^2 \qquad \text{(Eq. 4)}$$

Pv= Proporção de vegetação

que servi de base para gerar o mapa de emissividade (Eq. 5):

$$E = 0.004*Pv + 0.986 \qquad \text{(Eq. 5)}$$

O mapa de LST (Eq. 6) foi obtido através da correção da Temperatura de Brilho de Topo de Atmosfera com o uso do mapa de emissividade.

$$LST = BT / (1 + (\lambda + BT / c2) * \ln(E) \qquad \text{(Eq. 6)}$$

λ = Comprimento de onda efetivo da Banda 10 (~10.895 µm)
c2 = Valor derivado da Constante de Plank (14388)

Resultados parciais

O mapa de Temperatura de Superfície Terrestre (LST), obtido através da correção da Temperatura de Brilho de Topo de Atmosfera com o uso do mapa de emissividade, revela uma variação de temperaturas entre ~ 36°C, na cor avermelhada, a ~ 26,5°C, na cor esverdeada (Figura 1b). Se comparado com a imagem de satélite (Figura 1a), nota-se que as menores temperaturas superficiais coincidem com as áreas de parques/praças, ou ainda, bairros com maior presença da vegetação, e as maiores temperaturas estão concentradas nas áreas com os grandes galpões industriais.

Para possibilitar análises mais detalhadas da influência da geometria urbana na formação das ilhas de calor urbanas, a vetorização das construções existentes está em fase de elaboração,

conforme mostra a Figura 2. Essa base de dados servirá para as simulações de cenários de previsão de adensamento e verticalização e seus impactos no clima da cidade.

Figura 1: imagem de satélite do município (a) e mapa LST para São Caetano do Sul (b)

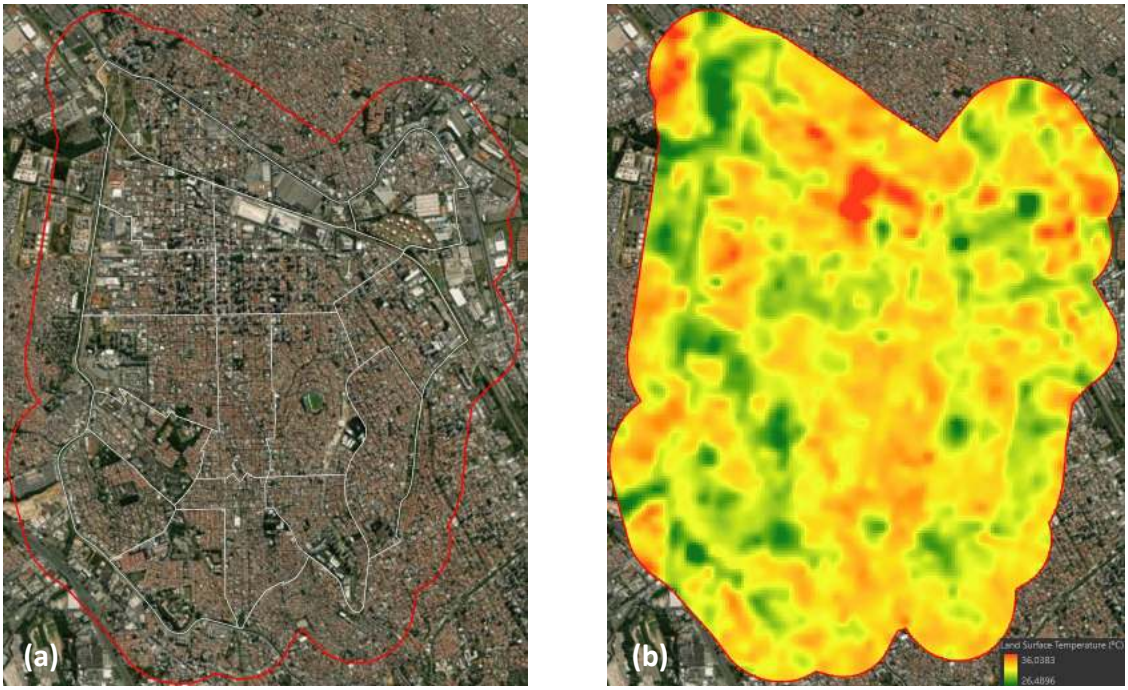
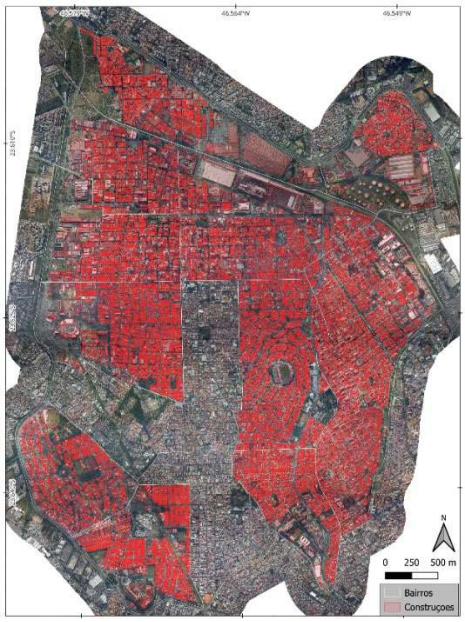


Figura 2: Construções de São Caetano do Sul que já foram vetorizadas no ArcGIS



Considerações Finais

O mapa de Temperatura de Superfície Terrestre obtido no SIG subsidia uma primeira análise das ilhas de calor urbanas no município de São Caetano do Sul, com contribuições importantes sobre a análise da influência das construções e vegetação sobre as ilhas de calor urbanas. Pretende-se com a continuidade do projeto de pesquisa utilizar o potencial do software ArcGIS para estimar os impactos do crescimento da cidade no clima urbano e prever cenários de adensamento que possam auxiliar no processo de revisão do Plano Diretor Estratégico da cidade. O avanço e finalização da base de dados SIG permitirá a realização de análises mais detalhadas de diagnóstico e previsão desses cenários.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPESP pela concessão de auxílio à pesquisa.

Referências

CIDADE-BRASIL. **Município de São Caetano do Sul**. Disponível em: https://www.cidade-brasil.com.br/municipio-sao-caetano-do-sul.html, acesso em: 09.06.2023.

CLIMATE-DATA.ORG. **CLIMA: SÃO CAETANO DO SUL.** Disponível em: https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/sao-paulo/sao-caetano-do-sul-9603/, acesso em: 10.06.2023.

Lei Nº 5.374, de 09 de dezembro de 2015. **Plano Diretor Estratégico de São Caetano do Sul - 2016/2025**, PDE-2016/2025. Disponível em: https://leismunicipais.com.br/a/sp/s/sao-caetano-do-sul/lei-ordinaria/2015/538/5374/lei-ordinaria-n-5374-2015-institui-o-plano-diretor-estrategico-de-sao-caetano-do-sul-2016-2025-e-da-outras-providencias, acesso em: 05.06.2023.

Polidori, M. C., Peres, O. M., & Tomiello, F. (2020). **Modelagem e morfologia urbana com o PeopleGrid.** urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana, 12, e20190234. https://doi.org/10.1590/2175-3369.012.e20190234.

Zhou, D.; Xiao, J.; Bonafoni, S.; Berger, C.; Deilami, K.; Zhou, Y.; Frolking, S.; Yao, R.; Qiao, Z.; Sobrino, J. A. **Satellite Remote Sensing of Surface Urban Heat Islands: Progress, Challenges, and Perspectives.** Remote Sensing. 11(1), 48, p. 1-36; https://doi.org/10.3390/rs11010048. 2019.