

SEGREGAÇÃO SOCIOESPACIAL E VULNERABILIDADES CLIMÁTICAS: O CASO DA CIDADE DE SÃO PAULO - SP

Ana Júlia Magalhães Gonçalves Dias¹, Marcos Adami², Letícia Palazzi Perez³ e Andreia Medinilha Pancher⁴

¹UNESP, ana.m.dias@unesp.br, ²INPE, marcos.adami@inpe.br, ³PNUD - Floresta + Amazônia, leticia.palazzi@gmail.com,

⁴UNESP, am.pancher@unesp.br

RESUMO

Um dos ambientes mais afetados pelo aquecimento global são as cidades, onde residem mais de 56% da população mundial. Necessitando compreender tais consequências, o objetivo desta pesquisa foi analisar a relação espacial entre desigualdade socioeconômica e temperatura na cidade de São Paulo-SP. Para essa relação, os setores censitários foram dissolvidos por classe de renda e para cada polígono resultante, foram obtidos os valores de NDVI e temperatura a partir do processamento de 129 imagens do Landsat 5 (TM) e 7 (ETM+) entre 1/10/2009 e 30/4/2010 e coletado dados de impermeabilização do solo. Os resultados indicaram uma relação positiva entre renda, NDVI e impermeabilização e relação negativa entre renda e temperatura. A análise da relação entre temperatura e renda na cidade de São Paulo aponta que além da segregação socioespacial e econômica, há uma segregação ambiental, agregando um fator de risco climático às populações mais vulneráveis

Palavras-chave – Sensoriamento Remoto, Renda, Temperatura, NDVI, Impermeabilização.

ABSTRACT

One of the environments most affected by global warming are cities, where more than 56% of the world's population reside. Needing to understand such consequences, the objective of this research was to analyze the spatial relationship between socioeconomic inequality and temperature in the city of Sao Paulo-SP. For this relationship, the census sectors were dissolved by income class and for each resulting polygon, the NDVI and temperature values were obtained from the processing of 129 images from Landsat 5 (TM) and 7 (ETM+) between 10/01/2009 and 4/30/2010 and collected impervious surface data. The results indicated a positive relationship between income, NDVI and impervious surface and a negative relationship between income and temperature. The analysis of the relationship between temperature and income in the city of Sao Paulo shows that in addition to socio-spatial and economic segregation, there is environmental segregation, adding a climatic risk factor to the most vulnerable populations.

Key words – Remote Sensing, Income, Temperature, NDVI, Impervious surface.

1. INTRODUÇÃO

Estudos de clima urbano, além das condições de temperatura, pressão e umidade, consideram também a impermeabilização

do solo, quantidade de vegetação disponível e densidade das áreas edificadas, como fatores que afetam o clima local. Além disso, o tecido urbano, os materiais utilizados nas edificações, a cobertura das superfícies, a quantidade de vegetação e a movimentação de veículos interferem no balanço de energia deste ambiente [1] [2]. Em diversas cidades e regiões dos Estados Unidos da América, os estudos apontam que a ocorrência de altas temperaturas em bairros historicamente ocupados por afro-americanos não pode ser dissociada da segregação socioespacial. Isto é apontado nestes estudos como resultado da dificuldade de acesso, por parte da população negra, à financiamentos para aquisição de residências em bairros com vegetação e tecido urbano que favorecem o conforto térmico [3] [4].

Não é coincidência que tecido urbano, morfologia, densidade, impermeabilização e vegetação também são características da segregação socioespacial presente nas cidades brasileiras. A ocupação sem planejamento urbano nos assentamentos precários gera ausência de arborização urbana, de espaços livres e permeáveis, e de recuos por entre as residências - que impedem a circulação do ar. Isto é muito distinto das áreas onde há maior concentração de renda, loteadas e comercializadas dentro do mercado formal de terras, seguindo as regras do planejamento urbano [5] [6].

As características marcantes da diferença da ocupação do espaço por distintas faixas de renda, como a rugosidade do tecido urbano e a não presença de arborização, implicam em maior temperatura em regiões habitacionais das classes de baixa renda [7] [8]. Então, na produção da malha urbana das cidades, a distribuição de riqueza e sua concentração é responsável por construir a relação entre a morfologia espacial e a social [9], onde as características das periferias e assentamentos informais auto construídos geram consequências não só sociais, mas também de saúde [10] [11] [12] [13]. A exemplo, a densidade dos assentamentos informais da cidade do Rio de Janeiro é, muitas vezes, inversamente proporcional à distância do centro urbano [5] e são nestas localidades que a ocorrência de surtos de dengue se apresenta de maneira mais intensa [12]. Na cidade de São Paulo, comunidades como Heliópolis e Paraisópolis apresentam densidade populacional e residencial de 8 a 14 vezes maior que a média dos bairros em que estão inseridas [14], sendo, a exemplo, a incidência de dengue maior, também, nas áreas de elevados registros de temperatura da superfície e nos assentamentos informais [13].

São Paulo, a cidade mais populosa do país, é extremamente desigual. Nos bairros centrais vivem as classes com maior poder aquisitivo, especialmente entre os limites dos rios Tietê e Pinheiros, enquanto aquelas de menor poder econômico habitam as periferias [15] [16] [17]. Além disso, a

qualidade da infraestrutura urbana está atrelada à distribuição da população por classe social: calçamento, arborização, drenagem pluvial, lazer e acesso às estações de metrô são alguns dos elementos que permitem ou inibem a moradia das classes de renda em determinadas regiões. Ainda, é justamente em áreas de baixa ou nenhuma infraestrutura urbana, como margem de córregos e topos de morro, onde reside a população mais pobre e socioeconomicamente vulnerável [17].

Assim, o objetivo deste trabalho foi apresentar a relação entre temperatura, vegetação, renda e impermeabilização do solo na cidade de São Paulo, a partir de análise de imagens Landsat, dados censitários e informações de uso e cobertura da Terra.

Tratam-se dos primeiros resultados obtidos no âmbito de um projeto de pesquisa de iniciação científica mais amplo, que tem como objetivo analisar a vulnerabilidade atual da população da cidade de São Paulo, em relação aos extremos de clima.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para o presente artigo foram utilizadas 129 imagens (órbitas/pontos 219/76 e 219/77) obtidas entre 01/10/2009 e 30/04/2010 pelo sensor TM e ETM+ dos satélites Landsat 5 e Landsat 7, respectivamente. Essas imagens foram processadas utilizando a plataforma de análises geoespaciais e de processamento em nuvem, Google Earth Engine (GEE; [18]). O produto selecionado possui correção atmosférica gerada a partir da versão 3.4.0 do algoritmo LEDAPS [19] para as bandas SR e do Single-Channel algorithm para as bandas ST [20]. A escolha do ano de 2010 se deve à aplicação de informações precisas sobre renda no último Censo Demográfico [21].

Para cada imagem, os valores associados às nuvens e as sombras foram mascarados e na sequência foi calculado o índice de vegetação NDVI. Os valores de temperatura, disponibilizados a partir de algoritmos automatizados [22] [23], foram convertidos em graus Kelvin a partir da seguinte equação, aplicando os fatores de escala [24]: $T^{\circ}K = (B6 \times 0,00341802) + 149$, sendo $T^{\circ}K$ a temperatura em graus Kelvin e $B6$ a banda termal. Posteriormente, ocorreu a conversão dos resultados no sistema internacional de unidade Kelvin para graus Celsius da seguinte forma: $T^{\circ}C = T^{\circ}K - 273,16$.

O período total de análise das informações foi dividido pela aquisição de dados entre 2009 e 2010. Os meses selecionados foram escolhidos a partir da análise da temperatura registrada pela estação A701 [25], que se manteve alta para o tipo de clima Cwa, superior a 22°C [26] e com pequenas variações, sendo o período investigado correspondente à primeira quinzena do trimestre de primavera ao primeiro mês do trimestre de outono.

Para a análise de impermeabilização do solo, foi utilizado o arquivo digital do mapeamento de uso e ocupação do solo, elaborado pela EMPLASA [27], o qual contém taxas de impermeabilização para cada polígono de uso do solo, elaborado na escala 1:25.000. Para a definição da dimensão da territorialização dos dados, foram utilizados setores censitários [21], do perímetro urbano do município de São

Paulo-SP, os quais representam a menor unidade territorial intra urbana contendo dados socioeconômicos. Com base nos dados censitários foi calculada a renda per capita domiciliar [21]. A partir disso, foram obtidas as classes sociais (Tabela 1), definidas com base nos relatórios do Instituto de Economia da UNICAMP [28] e do Centro de Políticas Sociais da FGV.

Posteriormente, os limites dos setores censitários foram dissolvidos utilizando como atributo a classe social (CS). Ainda, foram selecionados 30 assentamentos informais (AI), com mais de 50 hectares e dentro da área urbana (Lei Municipal 16.050/2014), que não se apresentam sobrepostos à Lei de Proteção aos Mananciais da Billings e da Guarapiranga (Leis Estaduais 13.579/2009 e 12.233/2006). Estes polígonos foram incluídos na análise removendo os limites onde haviam sobreposições.

Classe	Salários Mínimos
A e B	> 10
C1	6 a 10
C2	4 a 6
D	2 a 4
E	0 a 2

Tabela 1: Relação entre classe social e renda em número de salários mínimos [21]

Vale ressaltar que, de acordo com Costa [28], na média nacional, em 2010, mais de 50% da população brasileira encaixava na classe C, enquanto aproximadamente 11% compunham as classes A e B, e menos de 40% as classes D e E. Desta forma, para este estudo, uniram-se as classes A e B e dividiu-se a classe C em duas faixas, C1 e C2, para que fosse minimizada a discrepância entre a quantidade de indivíduos nas referidas faixas de renda.

Assim, após a obtenção dos limites de CS e AI foram obtidos os valores de média, mínimo, máximo, primeiro e terceiro quartil e a mediana de NDVI e de temperatura para cada um dos polígonos. Estes valores foram analisados utilizando o software RStudios Team [29]

Para evitar a influência de *outliers* na análise dos resultados, foram utilizados os valores medianos de NDVI e temperatura. Estes valores foram comparados entre si, por CS e AI, utilizando o Wilcoxon Rank Sum and Signed Rank Tests [30].

3. RESULTADOS

Os resultados mostram a periferização dos domicílios de baixa renda e a concentração de domicílios de alta renda na porção central do município (Figura 1), seguindo a lógica estrutural centro periferia [15]. Ainda, é clara a concentração das rendas mais altas na porção entre os rios Tietê e Pinheiros, com espraiamento histórico em direção à região sudoeste da cidade [15] [16] [17].

A temperatura mediana dos polígonos das CS A e B (33,4°C) foi estatisticamente menor ao ser comparada com a das demais CS. A temperatura dos AI (37,5°C) foi estatisticamente igual (p -value = 0,62) ao obtido nos polígonos da CS E (37,7°C). Dentre todas as classes a que apresentou maior temperatura foi a D (38,2°C), diferentemente de todas as demais. Temperaturas mais

baixas na classe E (25.4°C) e mais altas na classe D (39.2°C) podem ser explicadas pelo padrão morfológico das ocupações precárias da cidade de São Paulo, onde as zonas centrais, ocupadas pela classe A e B, constituídas com ampla infraestrutura [8], encontram-se em ilhas de frescor. Além disso, os enclaves de alta renda são pouco verticalizados, em lotes de grande porte, possuindo jardins e largo recuo entre as residências, com ruas arborizadas, de pouca circulação de automóveis [7].

As áreas próximas à zona rural, as quais tiveram sua ocupação marcada pela precariedade urbana e baixo acesso a investimento, apresentando menor verticalização e estrutura viária pouco adensada [17], foram classificadas como ilhas de calor moderado e a porção localizada entre ambas, marcada pela ocupação da classe média a partir do espraiamento histórico, encontram-se nas ilhas de calor extremo, explicada pela baixa densidade de área foliar [8] e altas taxas de impermeabilização.

Os valores medianos de NDVI das CS A e B (0,0940) foi estatisticamente maior e diferente (p -value = 0,013) em comparação às demais classes. A mediana dos valores de NDVI dos AI foi estatisticamente igual (p -value = 0,24; 0,11; 0,89; 0,37) aos polígonos pertencentes às classes E(0,0824), D(0,0730), C2(0,0796) e C1(0,0834), respectivamente. A taxa de impermeabilização mediana dos polígonos das CS A e B e C1 (com impermeabilização de 95,3% da superfície) foi estatisticamente igual (p -value = 0,71) e maior em relação às demais, enquanto as menores medianas registradas foram das CS E (90,6%) e D (92,1%). A mediana dos dados de impermeabilização também foi estatisticamente igual entre as classes AI e E (p -value = 0,95) e diferente de todas as outras.

menores temperaturas na determinada periferia da cidade de São Paulo, assim como maior quantidade de vegetação nas mesmas localidades pode estar relacionada com a proximidade à área rural e maior índice de precariedade urbana [17]. Os resultados dos valores de NDVI, inversamente proporcionais aos resultados de temperatura, demonstram que a ocorrência de valores mais elevados do índice encontrados na porção da classe A, ainda que a taxa de impermeabilização da mesma seja maior do que a da classe E, se dá também pela precariedade urbana da última e sua morfologia urbana [17].

5. CONCLUSÕES

A análise dos dados indicou maior temperatura entre as classes de renda com menor poder econômico, com exceção da classe E, que possui maior precariedade urbana, constatado na análise dos dados de impermeabilização do solo e temperaturas menores entre as classes de maior poder aquisitivo. O mesmo resultado foi observado para os valores de NDVI.

Por outro lado, as regiões ocupadas pelas classes de alta renda, em especial as classes A e B, ainda que apresentem altas taxas de impermeabilização, semelhantes às classes D, C1 e C2, demonstram, também, altos valores de NDVI e temperaturas reduzidas em relação às demais.

Os resultados da análise da relação entre temperatura e renda na cidade de São Paulo apontam que além da segregação socioespacial e econômica, ocorre também a segregação ambiental, onde as classes de baixa renda vivem em menores condições de conforto térmico, agregando mais um fator de risco climático às populações mais vulneráveis.

6. REFERÊNCIAS

- [1] Tim R Oke et al. Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. 2004.
- [2] DO Sant'Anna, PH Dos Santos, NS Vianna, and MA Romero. Indoor environmental quality perception and users' satisfaction of conventional and green buildings in Brazil. *Sustainable Cities and Society*, 43:95–110, 2018.
- [3] Bev Wilson. Urban heat management and the legacy of redlining. *Journal of the American Planning Association*, 86(4):443–457, 2020.
- [4] Jeremy S Hoffman, Vivek Shandas, and Nicholas Pendleton. The effects of historical housing policies on resident exposure to intra-urban heat: a study of 108 US urban areas. *Climate*, 8(1):12, 2020.
- [5] Janice Perlman. *Favela: Four decades of living on the edge in Rio de Janeiro*. Oxford University Press, 2010.
- [6] Kristine Stiphany. Infrastructural insurgency: Constructing situated data at Brazil's urban periphery. *PlanNext Next Generation Planning Journal*, 2021.
- [7] LL Andrade, SMF Costa, RM Castro, and RC Moreira. Ilha de calor e segregação espacial: estudo de caso-sítios da macrozona sul do município de São José dos Campos/SP. *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil*, pages 25–30, 2009.

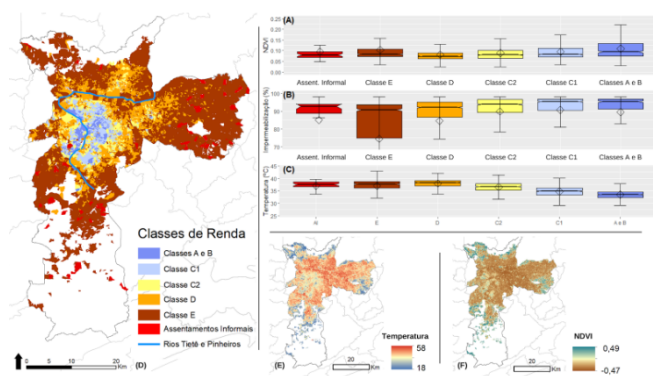


Figura 1: (A) distribuição do NDVI, (B) distribuição da impermeabilização, (C) distribuição da temperatura, todos por classe social; (D) espacialização das classes de renda, (E) espacialização da temperatura, (F) espacialização do NDVI na zona urbana de São Paulo.

4. DISCUSSÃO

A periferia composta pela classe E, além de apresentar menores médias de temperaturas se comparadas à classe D, também tem os menores índices de impermeabilização e apresenta maiores valores de NDVI, em comparação às demais classes periféricas (Assentamentos informais, D e C2) concordando com [8] que aponta que as

- [8] Hugo Rogério Barros and Magda Adelaide Lombardo. A ilha de calor urbana e o uso e cobertura do solo no município de são paulo-sp. *GEOUSP Espaço e Tempo (Online)*, 20(1):160–177, 2016.
- [9] Ana Fani Alessandri Carlos. Segregação socioespacial e o "direito à cidade". *GEOUSP Espaço e Tempo (Online)*, 24(3):412–424, 2020.
- [10] Jason Corburn and Alice Sverdlik. Slum upgrading and health equity. *International journal of environmental research and public health*, 14(4):342, 2017.
- [11] Regina Fernandes Flauzino, Reinaldo Souza-Santos, and Rosely Magalhães Oliveira. Dengue, geoprocessamento e indicadores socioeconômicos e ambientais: um estudo de revisão. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 25(5):456–461, 2009.
- [12] Jefferson Pereira Caldas Santos, Nildimar Alves Honório, Christovam Barcellos, and Aline Araújo Nobre. A perspective on inhabited urban space: land use and occupation, heat islands, and precarious urbanization as determinants of territorial receptivity to dengue in the city of rio de janeiro. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(18):6537, 2020.
- [13] Ricardo Vieira Araujo, Marcos Roberto Albertini, André Luis Costa-da Silva, Lincoln Suesdek, Nathália Cristina Soares Franceschi, Nancy Marçal Bastos, Gizelda Katz, Vivian Ailt Cardoso, Bronislawa Ciotek Castro, Margareth Lara Capurro, et al. São paulo urban heat islands have a higher incidence of dengue than other urban areas. *Brazilian Journal of Infectious Diseases*, 19:146–155, 2015.
- [14] Kristine Stiphany, Peter M Ward, and Leticia Palazzi Perez. Informal settlement upgrading and the rise of rental housing in são paulo, brazil. *Journal of Planning Education and Research*, page 0739456X211065495, 2022.
- [15] Teresa Pires do Rio Caldeira. *Cidade de muros: crime, segregação e cidadania em São Paulo*. Editora 34, 2000.
- [16] Flávio Villaça. *Espaço intra-urbano no Brasil*. Studio nobel, 1998.
- [17] Sidney Vieira Carvalho. *Entre o rio e a serra: Forma urbana e sistema de espaços livres na região norte do município de São Paulo*. PhD thesis, Universidade de São Paulo, 2011.
- [18] Noel Gorelick, Matt Hancher, Mike Dixon, Simon Ilyushchenko, David Thau, and Rebecca Moore. Google earth engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote sensing of Environment*, 202:18–27, 2017.
- [19] JG Masek, EF Vermote, N Saleous, R Wolfe, FG Hall, KF Huemmrich, F Gao, J Kutler, and TK Lim. Ledaps landsat calibration, reflectance, atmospheric correction preprocessing code. *ORNL DAAC*, 2012.
- [20] Juan C Jiménez-Muñoz and José A Sobrino. A generalized single-channel method for retrieving land surface temperature from remote sensing data. *Journal of geophysical research: atmospheres*, 108(D22), 2003.
- [21] IBGE. Censo 2010, 2010.
- [22] Monica Cook, John R Schott, John Mandel, and Nina Raqueno. Development of an operational calibration methodology for the landsat thermal data archive and initial testing of the atmospheric compensation component of a land surface temperature (1st) product from the archive. *Remote Sensing*, 6(11):11244–11266, 2014.
- [23] Simon J Hook, Gyanesh Chander, Julia A Barsi, Ronald E Alley, Ali Abtahi, Frank D Palluconi, Brian L Markham, Robert C Richards, S Geoffrey Schladow, and Dennis L Helder. In-flight validation and recovery of water surface temperature with landsat-5 thermal infrared data using an automated high-altitude lake validation site at lake tahoe. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 42(12):2767–2776, 2004.
- [24] USGR. Usgs landsat 7 level 2, collection 2, tier 1 ; earth engine data catalog; google developers, 2022.
- [25] INMET. Instituto nacional de meteorologia - inmet, 2022.
- [26] Wilhelm KÖPPEN. Climatologia. méxico. *Fundo de Cultura Econômica*, 9, 1948.
- [27] EMPLASA. *Expansão da Área Urbanizada da Região Metropolitana de São Paulo*. 2003.
- [28] Fernando Nogueira da Costa. *Que país é este?: dimensões da desigualdade social*. Instituto de Economia, UNICAMP, 2019.
- [29] R Core Team et al. R: A language and environment for statistical computing. 2013.
- [30] David F Bauer. Constructing confidence sets using rank statistics. *Journal of the American Statistical Association*, 67(339):687–690, 1972.