

ANÁLISE DOS MICROCLIMAS NO CAMPUS BUTANTÃ USP E ENTORNO: IMPACTO DA VEGETAÇÃO E URBANIZAÇÃO

ANALYSIS OF MICROCLIMATES IN THE USP BUTANTÃ CAMPUS AND SURROUNDINGS: IMPACT OF VEGETATION AND URBANIZATIONS

Selma Isabel Rodrigues¹, Ricardo Pinto da Rocha², Gregório Cardoso Tápias Ceccantini³

RESUMO

A urbanização intensifica os contrastes socioambientais e compromete o conforto climático nas grandes cidades, o que impacta diretamente a qualidade de vida. Diante do exposto, o presente estudo investiga as dinâmicas microclimáticas na Cidade Universitária Armando de Salles Oliveira (*Campus* Butantã) da Universidade de São Paulo (USP), analisando o papel do planejamento ambiental, das áreas verdes e da cobertura vegetal na mitigação do desconforto térmico. Por meio de análises de imagens de satélite e índices espectrais, foram identificadas diferenças significativas na distribuição de temperatura no Campus da USP. Embora a área funcione como um “oásis urbano”, com temperaturas amenas em áreas vegetadas, locais como a Praça do Relógio e, especialmente, comunidades no entorno do *Campus* sofrem com a ausência de planejamento ambiental e socioeconômico, como a Comunidade São Remo, apresentando intensas ilhas de calor devido à predominância de pavimentos e edificações. Essas diferenças evidenciam como a interação de fatores socioambientais intensifica as desigualdades climáticas, reforçando a necessidade de ações sustentáveis para promover a equidade socioambiental. Alinhado a essa demanda, o Plano Diretor Participativo do *Campus* Butantã da USP reforça a implementação de soluções baseadas na natureza, como a expansão da cobertura vegetal e a implantação de corredores ecológicos.

Palavras-chave: ilhas de calor; conforto térmico; cobertura vegetal; equidade ambiental.

ABSTRACT

Urbanization intensifies socio-environmental contrasts and undermines climate comfort in large cities, directly affecting impacts quality of life. In this context, this study investigates the microclimatic dynamics of the Butantã Campus of the University of São Paulo (USP), analyzing the role of environmental planning, green areas, and vegetation cover in mitigating thermal discomfort. Using satellite imagery and spectral indices, significant differences in land surface temperature distribution were identified across the USP Campus. Although the campus functions as an ‘urban oasis,’ with milder temperatures in vegetated areas, places such as Praça do Relógio and, especially, surrounding communities that lack environmental and socioeconomic planning, such as the São Remo community, exhibit intense heat islands due to the predominance of impervious surfaces and buildings. These differences highlight how the interaction of socio-environmental factors intensifies climate inequalities, reinforcing the need for sustainable actions to promote socio-environmental equity. In line with this demand, the Participatory Master Plan of the USP Butantã Campus emphasizes the implementation of nature-based solutions, such as the expansion of vegetation cover and the establishment of ecological corridors.

Keywords: heat islands; thermal comfort; vegetation cover; environmental equity.

Recebido em 04.07.2025 e aceito em 11.12.2025

1 Tecnóloga Mecânica. Doutora em Geofísica. Universidade de São Paulo. Osasco/SP. Email: selma.rodrigues@alumni.usp.br

2 Biólogo. Doutor. Professor do Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. São Paulo/SP. Email: ricrocha@usp.br

3 Biólogo. Doutor. Professor do Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. São Paulo/SP. Email: gregorio@usp.br

INTRODUÇÃO

O conforto ambiental urbano, intrinsecamente ligado à qualidade de vida, molda a sensação térmica e o bem-estar da população. Nesse contexto, fatores como temperatura, umidade atmosférica, radiação solar e vento são profundamente influenciados pela infraestrutura urbana, que abrange edifícios, calçadas, ruas e áreas verdes. Em áreas densamente construídas, a absorção e retenção de energia por materiais como concreto e asfalto, aliadas à diminuição do vento, culminam na formação de ilhas de calor urbanas. A redução das áreas verdes agrava esse cenário, comprometendo a regulação térmica por meio da diminuição da evapotranspiração e da sombra. Diante disso, a adoção de práticas de planejamento urbano sustentável torna-se imprescindível para equilibrar desenvolvimento, assegurando maior conforto e qualidade de vida nas cidades.

Estudos como o de Machado e Azevedo (2006) mostram que superfícies vegetadas reduzem significativamente a emissão de calor urbano e promovem um ambiente térmico mais confortável nas áreas próximas. Essa relação direta entre vegetação e conforto térmico é corroborada por Buckeridge (2015), que destaca a capacidade das florestas urbanas de reduzir a incidência direta da luz solar em até 90%.

A quantificação e o monitoramento do impacto da vegetação no clima urbano podem ser realizados com sensoriamento remoto, e trabalhos como os de Barros e Lombardo (2016) e Costa et al. (2023) ressaltam a eficácia dos índices espectrais para essa finalidade. Contudo, a complexidade do clima urbano exige uma análise que integre outros fatores, como os morfológicos (a exemplo da geometria urbana) e os socioambientais. Nesse sentido, estudos como os de Nakata-Osaki et al. (2016) e Souza et al. (2010) destacam a influência da rugosidade e das relações altura do edifício/largura da rua (H/W) nos cânions urbanos, parâmetros essenciais para compreender as ilhas de calor noturnas e propor soluções de desenho urbano adaptadas a climas tropicais.

A compreensão das ilhas de calor urbanas (ICU), fenômeno climático causado pela atividade humana e caracterizado pelo aquecimento das áreas centrais das cidades, é destacada por Megda e Masiero (2021) como um dos fenômenos mais evidentes da modificação climática antrópica, tendo sido aprofundada por pesquisas desenvolvidas em diversos contextos geográficos. Em Manaus, Corrêa et al. (2016) utilizaram modelos numéricos avançados, como o Weather Research and Forecasting (WRF), para mapear a intensidade das ICUs e evidenciaram uma forte correlação entre densidade urbana e aumento de temperatura diurna. Na cidade de Londrina, Gamarra et al. (2014) analisaram o albedo e a temperatura da superfície por meio de sensoriamento remoto para quantificar e qualificar as ICUs, bem como seus padrões de distribuição. Já na cidade de Curitiba, Krüger (2016) investigou a relação entre crescimento urbano e conforto térmico, mostrando o impacto negativo da expansão urbana no bem-estar térmico da população. Em um trabalho mais recente, Lima Júnior et al. (2024) também utilizaram o índice de calor para discutir a relação do estresse térmico e infraestrutura verde em Fortaleza (CE).

A formação de ilhas de calor não se restringe às grandes metrópoles, estendendo-se também a cidades pequenas e médias, como demonstram os estudos de Amorim (2017) e Antonucci et al. (2024). Essa abrangência do fenômeno evidencia a necessidade de análises em diversas escalas e contextos, direcionando o olhar para casos específicos, como o do *Campus* Butantã da Universidade de São Paulo. Este, apesar de inserido na vasta metrópole paulistana, configura-se como um oásis urbano. Carvalho (2022), em um estudo comparativo entre o *Campus* da USP e o bairro da Lapa, demonstrou que a maior presença de vegetação no *Campus* resulta em temperaturas mais baixas e maior conforto térmico, evidenciando a relevância do planejamento urbano sustentável na promoção de microclimas favoráveis à qualidade de vida e na redução do consumo energético em edificações próximas. Liguori e Monteiro (2024) realizaram uma avaliação decadal em São Paulo, utilizando dados do Landsat 8 para evidenciar a relação entre urbanização e aumento da temperatura superficial diurna, especialmente nas áreas centrais e leste da cidade.

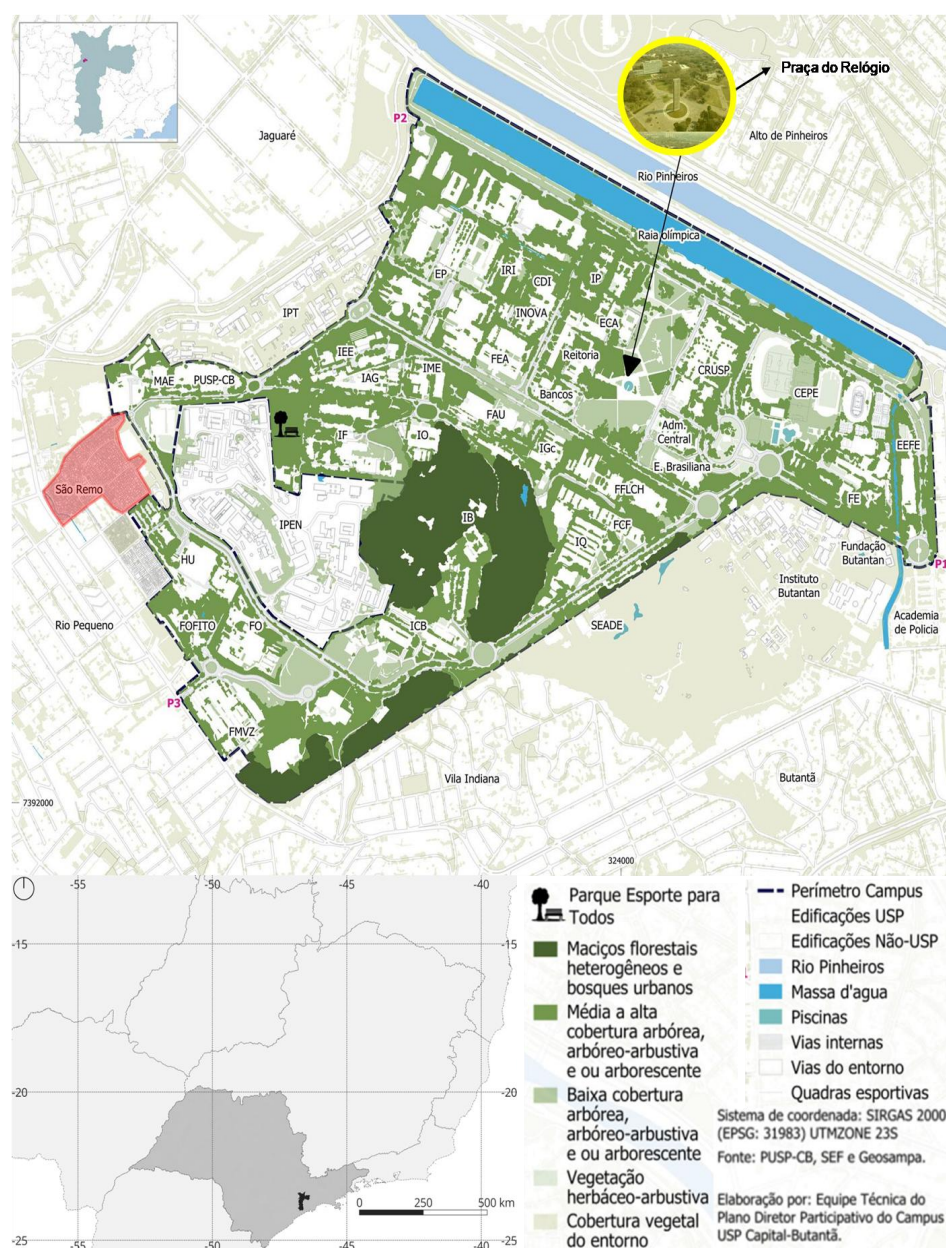
Em meio à urbanização, o Cidade Universitária Armando de Salles Oliveira (*Campus* Butantã) da Universidade de São Paulo (USP) se destaca como um refúgio natural, com 924.836 m² de áreas verdes e ajardinadas e cerca de 33.000 árvores. Segundo Delitti e Pivello (2017), as cinco reservas ecológicas, que somam 257.910 m², desempenham um papel fundamental na manutenção do equilíbrio climático local e na conservação da biodiversidade, atuando como verdadeiras ilhas de frescor. No entanto, a complexidade do ambiente urbano revela que mesmo áreas com extensa cobertura vegetal podem apresentar microclimas contrastantes. A análise detalhada do *Campus* Butantã, particularmente em sua relação com a Comunidade São Remo, localizada em seu entorno imediato, ilustra como a interação entre áreas verdes e construídas pode resultar em variações microclimáticas marcantes, revelando a coexistência de 'ilhas de frescor' e 'ilhas de calor' em um mesmo contexto urbano.

Diante desse panorama, o presente estudo se propõe a analisar as dinâmicas térmicas que exemplificam contrastes marcantes em termos de infraestrutura, cobertura vegetal e serviços ecossistêmicos, tais como a regulação microclimática e a mitigação de ilhas de calor. Ao enfatizar a importância de estratégias integradas, busca-se, a partir de um estudo de caso comparativo entre o *Campus* Butantã da USP e a Comunidade São Remo, extrapolar resultados e fornecer subsídios para a construção de cidades mais sustentáveis, resilientes e inclusivas, que refletem como a ocupação do espaço urbano pode exacerbar ou mitigar variações térmicas locais, propiciando ou combatendo a injustiça ambiental.

MATERIAL E MÉTODOS

Com o intuito de analisar as dinâmicas térmicas e evidenciar os contrastes dentro do *Campus* e do seu entorno imediato, foi empregada uma abordagem metodológica integrada, que combinou dados geoespaciais com análises meteorológicas, em etapas estruturadas para assegurar a precisão e a coesão dos resultados.

A escolha das áreas de estudo baseou-se em critérios associados tanto à proximidade geográfica quanto aos contrastes evidentes em termos de infraestrutura, cobertura vegetal e condições socioeconômicas. A Cidade Universitária Armando de Salles Oliveira (*Campus* USP Butantã) (Figura 1), situada na zona oeste da cidade de São Paulo, foi selecionada por representar um modelo de ambiente planejado, caracterizado pela extensa presença de áreas verdes que desempenham um papel fundamental na regulação climática local. Em contrapartida, a comunidade São Remo, por exemplo, é caracterizada por uma microrregião densamente urbanizada, com baixa cobertura vegetal e significativa vulnerabilidade socioeconômica. A história de São Remo, marcada por processos de ocupação informal e reivindicações por serviços públicos básicos, é essencial para entender e contextualizar as diferenças socioambientais (SILVA; GROSSMANN, 2021).



Fonte: Adaptado do Plano Diretor Participativo do *Campus* USP Capital - Butantã (USP, 2024).

Figura 1. Localização da Cidade Universitária Armando de Salles Oliveira, da Comunidade São Remo (em vermelho) e da Praça do Relógio (em amarelo) com informações sobre a vegetação

Figure 1. Location of the Armando de Salles Oliveira University City, São Remo Community (in red), and the Praça do Relógio (in yellow), with Vegetation Data

Para uma análise detalhada e integrada da cobertura vegetal, bem como da Temperatura da Superfície Terrestre (LST), foram utilizados dados de satélites provenientes do Copernicus e do USGS, na estação verão de 2024. O programa Copernicus da Agência Espacial Europeia (ESA, 2024), da União Europeia, oferece dados de observação da Terra, incluindo imagens de satélite Sentinel-2. A United States Geological Survey (USGS, 2013) disponibiliza dados do programa Landsat 8, que são amplamente utilizados para o cálculo da LST, sendo que as imagens termais permitem a avaliação da radiação térmica emitida pela superfície terrestre que é utilizada para estudos climáticos e urbanos.

As imagens do satélite Sentinel-2 foram empregadas para calcular:

- Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI): quantifica a densidade e a saúde da vegetação, para o cálculo foram utilizadas as bandas 4 (vermelho) e 8 (infravermelho próximo), através da seguinte fórmula:

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$$
, onde NIR é a banda do infravermelho próximo e RED a banda do vermelho.

- Índice de Água da Diferença Normalizada (NDWI): identifica corpos de água abertos e monitora o teor de umidade da vegetação superficial, sendo eficaz na distinção entre água e solo/vegetação. Para os cálculos são utilizadas as bandas 3 (verde) e 8 (infravermelho próximo) na seguinte fórmula:

$$NDWI = \frac{(GREEN - NIR)}{(GREEN + NIR)}$$
, onde GREEN é a banda do verde.

- Índice de Umidade da Diferença Normalizada (NDMI): detecta e monitora o teor de umidade dentro da vegetação e é utilizado principalmente para avaliar o estresse hídrico em áreas vegetadas, sendo muito sensível à quantidade de água presente nas folhas das plantas. O cálculo é realizado através da combinação das bandas 8 (infravermelho próximo) e 11 (infravermelho de ondas curtas):

$$NDMI = \frac{(NIR - SWIR)}{(NIR + SWIR)}$$
, onde SWIR é a banda do infravermelho de ondas curtas.

Para calcular a LST foram utilizados os dados da banda 10 (TIRS 1) do Landsat 8. Destaca-se que estes valores permitem avaliar fenômenos como ilhas de calor e estresse hídrico, sendo que cálculo envolve a conversão da radiação térmica capturada pelos sensores em valores de temperatura. As etapas são descritas a seguir:

- Obtenção dos dados da banda termal 10 (TIRS 1) do Landsat 8.
- Conversão da Radiância em Temperatura de Brilho (BT) aplicando a fórmula:

$$BT = \frac{K2}{\ln((K1/L\lambda)+1)}$$
, onde K1 e K2 são constantes de calibração da banda (fornecidas nos metadados da imagem), $L\lambda$ é a radiância espectral da banda.

- Cálculo da LST, expresso em graus Celsius:

$$LST = \left(\frac{BT}{(1 + (\lambda \cdot \frac{BT}{\rho}) \cdot \ln(\epsilon))} - 273,15 \right)$$
, onde λ é o comprimento de onda central da banda termal (10,8 μm), ρ é uma constante física e ϵ é a emissividade da superfície.

O processamento dos dados foi realizado no software QGIS, versão 3.34 (QGIS, 2023). As fórmulas dos índices espectrais (NDVI, NDWI e NDMI) e do LST foram implementadas na "Calculadora Raster" do QGIS para obter os valores de cada parâmetro. Em seguida, foi realizado o ajuste dos gradientes de cores para representar os valores obtidos e, assim, identificar padrões espaciais quando comparados entre áreas distintas, escolhendo paletas de cores representativas.

Para a interpolação das imagens, foi utilizada a reamostragem cúbica, um método que estima o valor de cada pixel de destino através de uma função polinomial cúbica, ponderando a contribuição dos pixels vizinhos. Diferentemente da interpolação do vizinho mais próximo, que simplesmente replica o valor do pixel mais próximo, ou da interpolação bilinear, que calcula a média ponderada dos quatro pixels vizinhos, a reamostragem cúbica considera uma vizinhança de 16 pixels. Essa técnica proporciona resultados mais suaves e com menos artefatos visíveis, sendo particularmente adequada para aplicações onde a qualidade visual é essencial. Além disso, a reamostragem cúbica preserva melhor os detalhes da imagem, oferecendo um equilíbrio eficaz entre a suavização necessária para reduzir artefatos e a preservação das bordas, assegurando alta qualidade visual com desempenho computacional aceitável (GONZALEZ; WOODS, 2018).

Para cada uma das duas áreas de estudo, foi realizada uma amostragem por pontos, a partir da qual foram extraídos os valores dos pixels correspondentes aos índices espectrais. Em seguida, os dados foram consolidados e submetidos a uma análise estatística, que incluiu uma comparação descritiva para caracterizar as variáveis entre as áreas e o cálculo do coeficiente de correlação de Pearson. Esse método foi empregado para quantificar a força e a direção das associações lineares entre todos os índices nas interações entre a cobertura vegetal (NDVI), a umidade (NDMI, NDWI) e a temperatura da superfície terrestre (LST).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a análise comparativa entre o *Campus* da USP e a Comunidade São Remo, foram gerados mapas temáticos (Figuras 2, 3, 4 e 5) que não apenas evidenciam as distintas realidades em termos de cobertura vegetal e temperatura superficial, mas também lançam luz sobre as diferenças microclimáticas dentro do próprio *Campus*, como na Praça do Relógio e em estacionamentos.

No mapa de NDVI (Figura 2) observa-se a diferença na densidade de vegetação entre a USP e o seu entorno. Os valores de NDVI são significativamente mais altos dentro do *Campus*, entre 0,4 e 0,8, o que indica a presença de vegetação densa e saudável, especialmente a presença das reservas ecológicas. Essa alta densidade de vegetação é fundamental para a regulação do microclima e a mitigação do efeito de ilha de calor urbano. Em contraste, a Comunidade São Remo exibe valores negativos de NDVI, entre -0,3 e -0,15, refletindo a inexistência de vegetação, ou seja, solos totalmente cobertos por construções, ruas e calçadas.

Destaca-se que os valores próximos a zero observados em alguns locais, indicando uma superfície urbanizada predominante e vegetação insignificante. Além disso, no mapa também é possível identificar variações dentro do próprio *Campus*. A presença de microrregiões com coloração mais clara (aproximadamente 70%) indica microclimas distintos daqueles que apresentam coloração mais escura (aproximadamente 30%). Destaca-se que a capacidade do NDVI de mostrar variações sutis na cobertura vegetal fortalece sua utilização como ferramenta para compreender as diferenças microclimáticas e as desigualdades socioambientais entre as áreas estudadas, conforme estudo de Silva e Grossmann (2021).

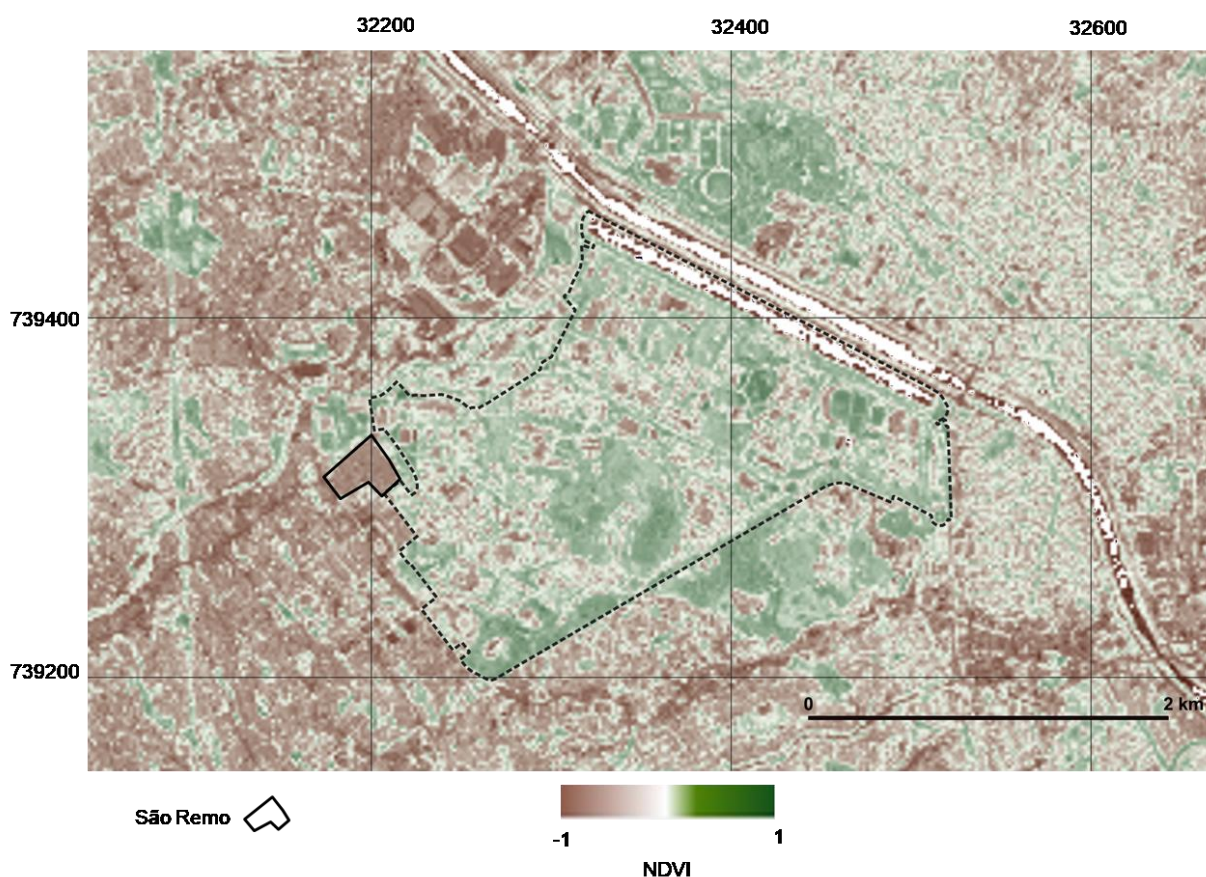


Figura 2. Mapa do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) da Cidade Universitária Armando de Salles Oliveira, com a Comunidade São Remo em destaque (contorno preto), elaborado a partir de imagens do satélite Sentinel-2 de 05/02/ 2024

Figure 2. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) Map of the Armando de Salles Oliveira University City, Featuring the São Remo Community (Black Outline), Generated from Sentinel-2 Satellite Imagery of February 5, 2024

Essa diferença na cobertura vegetal se reflete diretamente no mapa de Temperatura da Superfície Terrestre - LST (Figura 3). A região da comunidade São Remo apresenta temperaturas de superfície significativamente mais elevadas, com valores que frequentemente superam os 45°C e atingem picos de 50°C. Em contrapartida, as áreas vegetadas do *Campus* registram um microclima mais ameno, com temperaturas entre 24°C e 32°C, ressaltando uma amplitude térmica de mais de 25°C entre as duas áreas. Essa disparidade acentua o efeito de ilha de calor urbana em São Remo. A alta densidade de vegetação na USP, por sua vez, favorece o resfriamento da superfície através da evapotranspiração e do sombreamento, com

exceção de áreas como a Praça do Relógio e alguns estacionamentos, onde a predominância de superfícies construídas contribui para temperaturas diurnas mais altas.

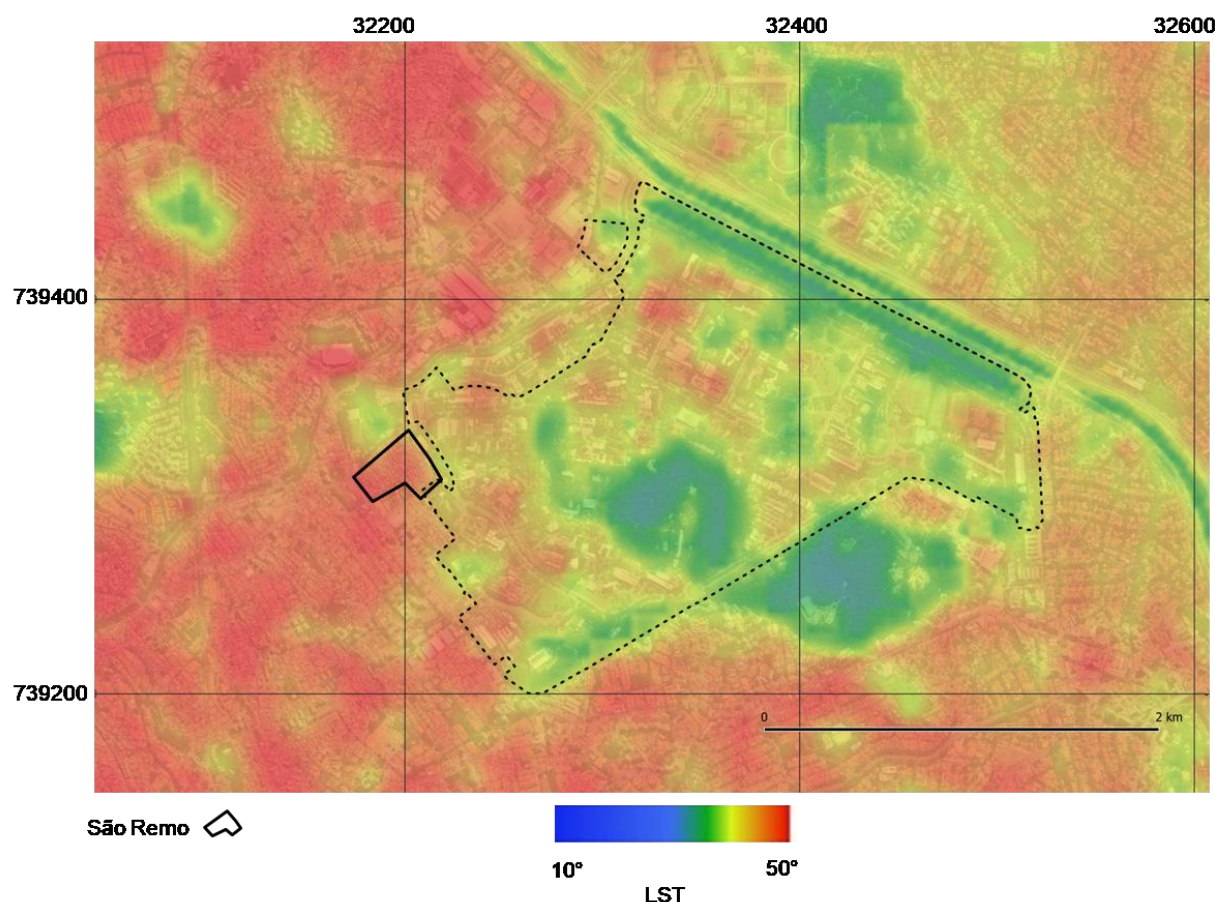


Figura 3. Mapa da Temperatura da Superfície Terrestre (LST) da Cidade Universitária Armando de Salles Oliveira, com a Comunidade São Remo em destaque (contorno preto), elaborado a partir de imagens do satélite Landsat 8 de 24/02/2024

Figure 3. Land Surface Temperature (LST) Map of the Armando de Salles Oliveira University City, Highlighting the São Remo Community (Black Outline), Generated from Landsat 8 Satellite Imagery of February 24, 2024

A análise dos índices NDWI e NDMI (Figuras 4 e 5, respectivamente), corrobora e se correlaciona com os índices de NDVI e LST, reforçando a compreensão das dinâmicas microclimáticas. O NDWI, ao quantificar o conteúdo de água na vegetação, e o NDMI, ao indicar o teor de umidade nas folhas, revelam valores positivos para o *Campus*. Este resultado sugere não apenas uma cobertura vegetal mais densa e em melhor estado de saúde, como também evidencia um maior conteúdo de água na vegetação no *Campus*. O NDWI, apropriado para mapear corpos d'água, com valores acima de 0,5 indicando água e valores menores de vegetação, e o NDMI, usado para monitorar secas, com valores negativos indicando solo estéril e valores positivos vegetação hidratada, confirmam a presença de vegetação mais hidratada e sem estresse hídrico na USP, em contraste com a comunidade São Remo, que apresenta valores associados a uma menor hidratação e maior estresse hídrico.

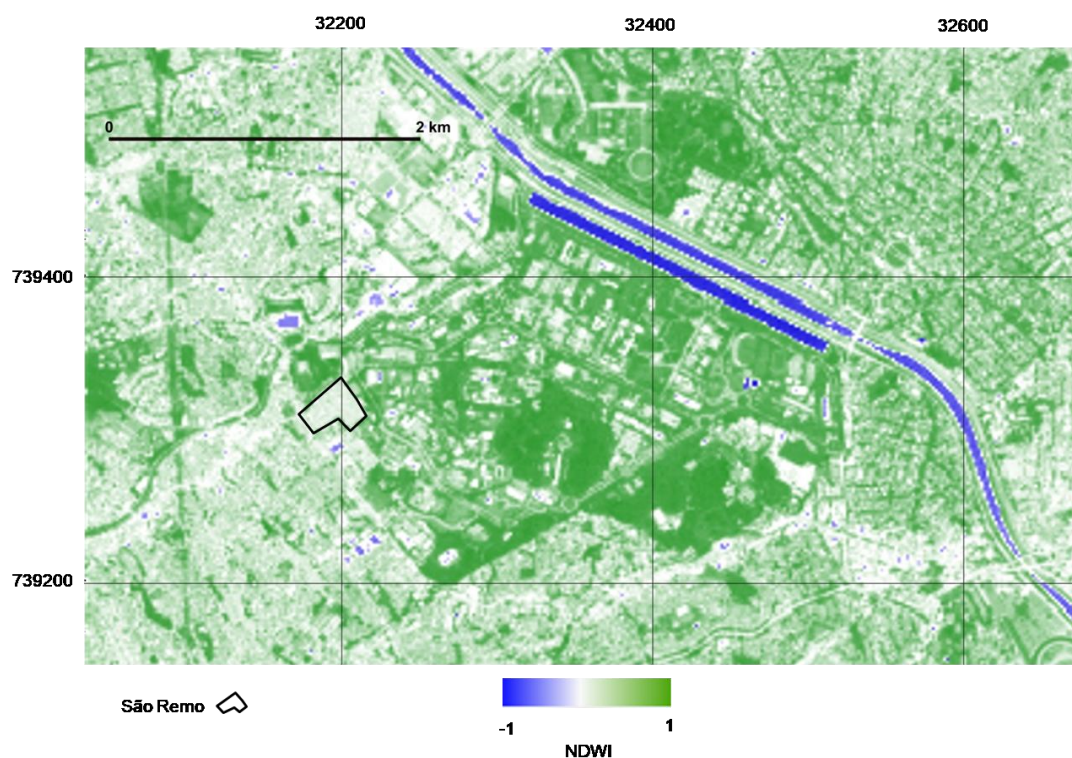


Figura 4. Mapa do Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI) da Cidade Universitária Armando de Salles Oliveira, com a Comunidade São Remo em destaque (contorno preto), elaborado a partir de imagens do satélite Sentinel-2 de 05/02/2024

Figure 4. Normalized Difference Water Index (NDWI) Map of the Armando de Salles Oliveira University City, Featuring the São Remo Community (Black Outline), Generated from Sentinel-2 Satellite Imagery of February 5, 2024

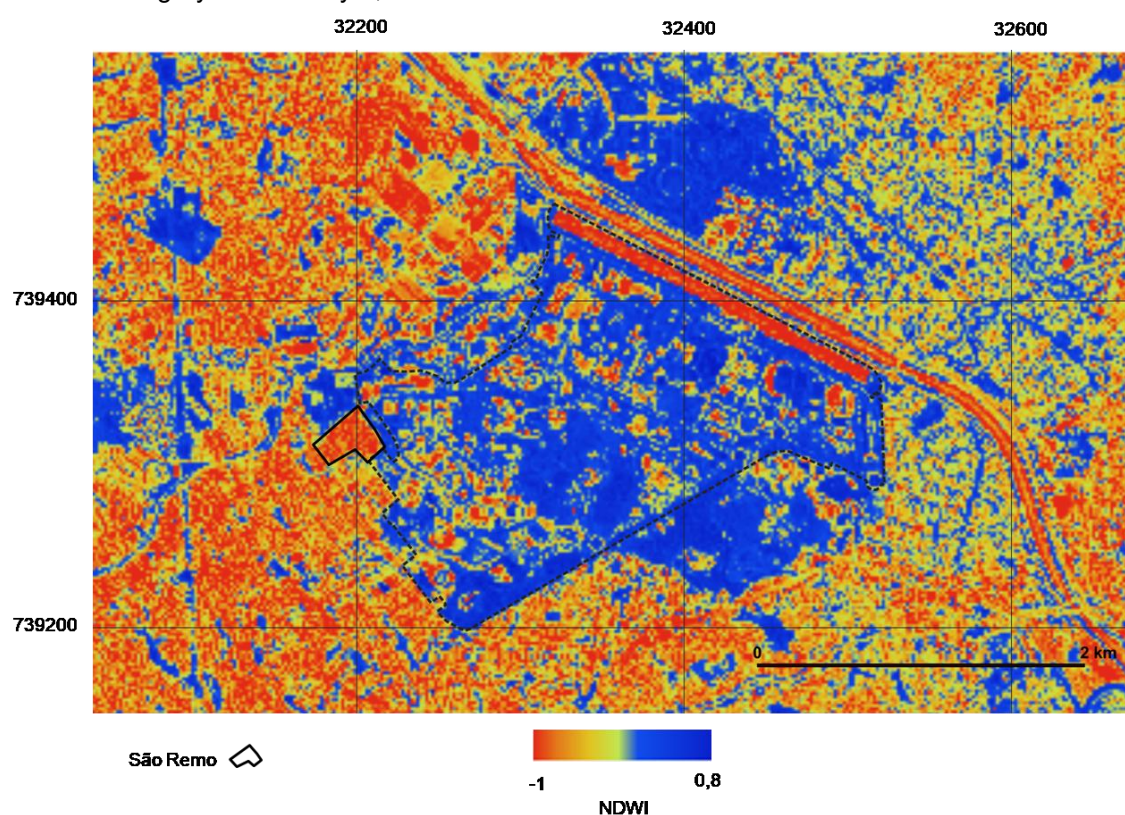


Figura 5. Mapa Índice de Umidade por Diferença Normalizada (NDMI) da Cidade Universitária Armando de Salles Oliveira, com a Comunidade São Remo em destaque (contorno preto), elaborado a partir de imagens do satélite Sentinel-2 de 05/02/2024

Figure 5. Normalized Difference Moisture Index (NDMI) Map of the Armando de Salles Oliveira University City, Highlighting the São Remo Community (Black Outline), Derived from Sentinel-2 Satellite Imagery of February 5, 2024

A análise integrada dos índices espectrais evidencia padrões distintos entre as microrregiões. No *Campus* da USP, nota-se uma forte correlação negativa entre o NDVI/LST, com coeficiente de Pearson (r) de -0,96, indicando que áreas com maior densidade de vegetação tendem a apresentar temperaturas de superfície mais baixas. Observa-se na análise progressiva dos pontos que, embora o coeficiente de correlação tenha pequenas flutuações entre os pontos, ele se mantém consistentemente forte, variando entre -0,94 e -0,97, o que mostra a robustez da relação negativa entre vegetação e temperatura na área. Resultados semelhantes foram observados para as correlações entre NDWI/LST (entre -0,90 e -0,98) e NDMI/LST (entre -0,92 e -0,98), e reforçam a importância da umidade e do conteúdo de água na vegetação para a regulação térmica.

Na Comunidade São Remo, a correlação entre NDVI e LST mostrou-se fraca e estatisticamente não significativa, com um coeficiente de Pearson (r) de aproximadamente -0,16. Este valor próximo de zero é esperado, uma vez que a paisagem homogênea, caracterizada pela alta densidade de construções e escassez de vegetação, resulta em um agrupamento de dados com baixa variabilidade, o que impede a formação de uma tendência clara.

As distinções identificadas não se limitam ao gradiente térmico, mas expõem a desigualdade no acesso a serviços ecossistêmicos essenciais. Enquanto o *Campus* da USP, com sua vasta cobertura vegetal, configura-se como um refúgio climático; a São Remo, carente de áreas verdes, é caracterizado como uma ilha de calor urbana, com implicações diretas na saúde e no bem-estar de seus moradores, configura-se como um caso de injustiça ambiental.

As distinções identificadas não se limitam ao gradiente térmico, mas expõem a desigualdade no acesso a serviços ecossistêmicos essenciais. Enquanto o Campus da USP, com sua vasta cobertura vegetal, configura-se como um refúgio climático, a São Remo, carente de áreas verdes, é caracterizada como uma ilha de calor urbana, com implicações diretas na saúde e no bem-estar de seus moradores, configurando-se como um caso de injustiça ambiental. Este achado local corrobora um padrão sistêmico de injustiça ambiental documentado em todo o Brasil, onde, conforme demonstram quantitativamente Santos e Braga (2024), a dinâmica se materializa como uma "proteção ambiental desigual", sendo a renda um fator estatisticamente determinante para o acesso a serviços básicos. Nas cidades, essa segregação é ativamente produzida pela Administração Pública que, ao distribuir desigualmente os investimentos, cria "zonas de sacrifício" para populações de baixa renda, configurando um racismo ambiental institucional (ROSSETTO; AGRIZZI, 2023). Os conflitos resultantes, mapeados por Porto et al. (2013), não são incidentes isolados, mas a consequência direta de um modelo de desenvolvimento hegemônico que destina sistematicamente os maiores danos ambientais aos grupos mais vulneráveis da sociedade.

As características domiciliares e socioculturais da comunidade São Remo, apresentadas por Silva e Grossmann (2021), com base nos dados do Censo Vizinhança USP, revelam um cenário de profunda vulnerabilidade. Nesse contexto, a temperatura elevada,

acentuada pela escassez de áreas verdes, agrava ainda mais as condições de vida, intensificando problemas de saúde e comprometendo a produtividade dos moradores.

Os resultados aqui apresentados, que correlacionam a densidade construtiva à intensificação do calor urbano, à falta de planejamento urbano e à exclusão social, configurando um cenário de injustiça climática, também foram obtidos nos estudos conduzidos por Lima Júnior et al. (2024), em Fortaleza (CE). De acordo com os autores, a análise do conforto térmico nas microrregiões da cidade evidencia disparidades significativas, principalmente na periferia (áreas noroeste, oeste e sudoeste), que apresenta maior desconforto devido à alta densidade demográfica e de edificações, além da vulnerabilidade socioeconômica da população.

CONCLUSÕES

O estudo ressalta a importância da análise integrada de índices espectrais da vegetação (NDVI), teor de umidade (NDMI), água (NDWI) e temperatura da superfície terrestre (LST) para a compreensão das dinâmicas microclimáticas em áreas urbanas. A seleção da Cidade Universitária Armando de Salles Oliveira e da Comunidade São Remo, baseada em critérios de proximidade geográfica e contrastes socioambientais, permitiu evidenciar a relevância da cobertura vegetal na regulação térmica, que influencia diretamente variáveis como o conforto e o estresse térmico, essenciais ao bem-estar urbano.

A utilização de dados de satélites (Sentinel-2 e Landsat 8) e o processamento no software QGIS mostraram padrões distintos entre as áreas de estudo. No *Campus* da USP, os valores positivos dos índices NDVI, NDWI e NDMI, aliados às temperaturas de superfície mais baixas, corroboram a presença de "ilhas de frescor". Em contraste, na Comunidade São Remo, os valores negativos dos índices espectrais e as temperaturas de superfície mais elevadas evidenciam o efeito de "ilha de calor urbana".

A análise integrada reforça a importância da umidade e do conteúdo de água na vegetação para a regulação térmica, e pode subsidiar políticas públicas que promovam a justiça climática e a equidade no acesso a áreas verdes, visando à melhoria da qualidade de vida e à mitigação dos efeitos das mudanças microclimáticas em áreas urbanas.

Diante das complexidades urbanas, a construção de cidades resilientes demanda soluções integradas e sustentáveis, pautadas pela inclusão. Nesse sentido, políticas públicas devem considerar a interdependência entre aspectos ambientais e sociais, e fomentar a colaboração entre diferentes atores para o desenvolvimento de estratégias eficazes e de longo prazo.

É importante salientar que as diretrizes do Plano Diretor Participativo do Campus Butantã da USP preconizam a implementação de soluções baseadas na natureza, o aumento da cobertura vegetal e a criação de corredores ecológicos, a fim de promover a sustentabilidade e a biodiversidade no *Campus* e no seu entorno.

REFERÊNCIAS

AMORIM, M. C. T. Detecção remota de ilhas de calor superficiais: exemplos de cidades de porte médio e pequeno do ambiente tropical, Brasil. **Finisterra**, Lisboa, LII, n. 105, p. 111–133, 2017.

ANTONUCCI, B.; NEVES, G. Z. F.; ANDRADE, N. L. R.; WEBLER, A. D. Efeitos da Urbanização e a Relação com o Conforto Térmico em Observações de Superfície no Sul da Amazônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 39, e39240063. 2024.

BARROS, H. R.; LOMBARDO, M. A. A ilha de calor urbana e o uso e cobertura do solo em São Paulo-SP. **GEOUSP Espaço e Tempo**, v. 20, n. 1, p. 71–82, 2016.

BUCKERIDGE, M. Árvores urbanas em São Paulo: planejamento, economia e água. **Estudos Avançados**, v. 29, n. 84, p. 185–207, 2015.

CARVALHO, T. V. S. **O microclima da Cidade Universitária Armando de Salles Oliveira e sua comparação com o bairro da Lapa, no município de São Paulo**. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, USP. 2022.

CORRÊA, P. B.; CANDIDO, L. A.; SOUZA, R. A. F.; ANDREOLI, R. V.; KAYANO, M. T. Estudo do fenômeno da ilha de calor na cidade de Manaus/AM: um estudo a partir de dados de sensoriamento remoto, modelagem e estações meteorológicas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 2, p. 167–176, 2016.

COSTA, G. A.; SANTOS, A. R.; PIROVANI, D. B.; DIAS, H. M.; CARVALHO, R. C. F.; CARVALHO, J. R.; SOUZA, K. B.; MOREIRA, T. R.; SILVA, R. G.; SENHORELO, A. P.; KUNZ, S. H. Geotechnologies applied to the behavioral study of urban heat islands. **Mercator**, Fortaleza, v. 22, dez. 2023.

DELITTI, W.; PIVELLO, V. **Reservas Ecológicas da Universidade de São Paulo**. São Paulo: Edusp, 2017.

ESA - EUROPEAN SPACE AGENCY. **Programa Copernicus**. 2024. Disponível em: <https://browser.dataspace.copernicus.eu/>. Acesso em 15 jul. 2024.

GAMARRA, N. L. R.; CORRÊA, M. P.; TARGINO, A. C. L. Utilização de sensoriamento remoto em análises de albedo e temperatura de superfície em Londrina – PR: contribuições para estudos de ilha de calor urbana. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, n. 4, p. 537–550, 2014.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Digital Image Processing**. 4. ed. New York: Pearson, 2018. Disponível em: <https://www.cl72.org/090imagePLib/books/Gonzales,Woods-Digital.Image.Processing.4th.Edition.pdf>. Acesso em: 22 jul. 2024.

KRÜGER, E. L. Efeitos da ilha de calor nos níveis de conforto em ambientes externos e internos para as condições climáticas de Curitiba. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 3, p. 459–467, 2016

LIGUORI, I. N.; MONTEIRO, L. M. Surface urban heat island and geospatial indicators: comparative decadal assessment through remote sensing. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 24, e138042, jan./dez. 2024.

LIMA JUNIOR, A. F.; GOMES, F. I. B. P.; ZANELLA, M. E. The Heat Index (HI) in the city of Fortaleza, Ceará. **Sociedade & Natureza**, v. 37, n. 1, 2024.

MACHADO, A. J.; AZEVEDO, T. R. Parametrização da emissão termo radiativa aplicada à análise do conforto urbano. **GEOUSP Espaço e Tempo**, v. 10, n. 2, p. 49–62, 2006.

MEGDA, O. R.; MASIERO, E. Análise das Ilhas de Calor Urbano sobre Zonas Climáticas Locais com o uso de VANT – Veículo Aéreo Não Tripulado – em uma cidade média. Urbe. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v.13, e20200333. 2021.

NAKATA-OSAKI, C. M.; SOUZA, L. C. L.; RODRIGUES, D. S. Impacto da geometria do cânion urbano na intensidade de ilha de calor noturna: análise através de um modelo simplificado adaptado a um SIG. **Ambiente Construído**, v. 16, n. 3, p. 73–87, 2016.

PORTO, M.F.; PACHECO, T.; LEROY, J.P. **Injustiça ambiental e saúde no Brasil**: o Mapa de Conflitos [online]. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 306 p. 2013.

QGIS Development Team. **QGIS User Guide Release 3.34**. 2023. Disponível em: <https://docs.qgis.org/3.22/pdf/QGIS-3.22-UserGuide-en.pdf>. Acesso em: 17 fev. 2024.

ROSSETTO, R. M.; AGRIZZI, L. B.; Injustiça Ambiental: Possível caso de responsabilização da Administração Pública, no município de Cachoeiro de Itapemirim/ES, por ausência de medidas essenciais que podem configurar Racismo Ambiental. **Revista do Direito - FDCI**, Cachoeiro de Itapemirim-ES, v. 1, n. 1, p. 1–19, 2022.

SANTOS, P. M., BRAGA, G. B. **Renda da população e injustiça ambiental no Brasil**. PatryTer, v.7, n. 14, p. 01–21, 2024.

SILVA, E. S.; GROSSMANN, M. **Censo Vizinhança USP**: Características Domiciliares e Socioculturais do Jardim São Remo e Sem Terra. Universidade de São Paulo, Instituto de Estudos Avançados, 2021.

SOUZA, L. C. L.; TENTE, C. M.; GIUNTA, M. B.; NAKATA, C. M. Fator de visão do céu e intensidade de ilhas de calor na escala do pedestre. **Ambiente Construído**, v. 10, n. 4, p. 155–167, 2010.

USP - UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. **Plano Diretor Participativo do Campus USP Butantã**. São Paulo, 2024. Disponível em: <https://planodiretor.cb.usp.br/>. Acesso em: 15 dez. 2024.

USGS - UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Using the USGS Landsat 8 Product**. 2013. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 29.out.2024