1.5 Plataforma de Monitoramento de Áreas Verdes Urbanas – UrbVerde: desafios metodológicos e potencialidades para a consolidação de um ambiente colaborativo no âmbito da rede Cyted RUN

Marcel Fantin [0000-0003-3069-8019], Universidade de São Paulo, Instituto de Arquitetura e Urbanismo IAU-USP, São Carlos, Brasil. mfantin@sc.usp.br

Julio Cesar Pedrassoli [0000-0001-9762-102X], Universidade Federal da Bahia, Departamento de Engenharia de Transportes e Geodésia, Salvador, Brasil. pedrassoli.julio@gmail.com

Manoel Rodrigues Alves [0000-0002-6935-0477], IAU-USP, São Carlos, Brasil. mra@sc.usp.br

Rúbia Gomes Morato [0000-0001-6135-4302], Universidade de São Paulo, Departamento de Geografia FFLCH-USP, São Paulo, Brasil. rubiagm@usp.br

Fernando Shinji Kawakubo [0000-0002-2045-6318], FFLCH-USP, Brasil. fsk@usp.br

Marcos Roberto Martines [0000-0002-7464-2431], Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Geografia, Turismo e Humanidades, Sorocaba, Brasil. mmartines@ufscar.br

Marcelo Montaño [0000-0003-0001-8801], Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia, São Carlos EESC-USP, São Carlos, Brasil. minduim@sc.usp.br

Joice Genaro Gomes [0000-0003-1535-0583], IAU-USP, São Carlos, Brasil. joicegenaro@usp.br

Daniel José de Andrade [0000-0001-9214-5087], IAU-USP, São Carlos, Brasil. dan.jose.andrade@gmail.com

Edmilson dos Santos Rodrigues Junior [0000-0002-6694-6515], EESC-USP, São Carlos, Brasil. edimilson.rodrigues.santos@usp.br

Eduardo Félix Justiniano [0000-0003-1469-4245], FFLCH-USP, São Paulo, Brasil. e.justiniano@usp.br

Breno Malheiros de Melo [0000-0001-8790-8430], EESC-USP, São Carlos, Brasil. breno_malheiros@usp.br

Nagayamma Aragão [0000-0002-2207-9587], Universidade Lusófona, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Centro de Estudos Interdisciplinares em Educação e Desenvolvimento, Instituto Politécnico da Lusofonia, Lisboa, Portugal. nagayammaaragao@hotmail.com

© The Author(s), 2023
Smaniotto Costa, C. et al. (Eds.): RUN Rios Urbanos Naturalizados,
Culture & Territory 06, pp. 105-121, 2023
https://doi.org/10.60543/ecati/y64c-ce61

Augusto Cesar Oyama [0000-0001-7418-2407], EESC-USP, São Carlos, Brasil. augusto.oyama@gmail.com

Gustavo Paixão Menezes [0000-0002-0932-0620], EESC-USP, São Carlos, Brasil. gustavopmenezes@usp.br.

Thiago Vital do Carmo [0000-0002-0510-1631], FFLCH-USP, São Carlos, Brasil. thiago.vital.carmo@usp.br

Vitor Antonio de Almeida Lacerda [0000-0002-2516-8438], EESC-USP, São Carlos, Brasil. vitorlacerda05@usp.br

Natalia Maria Canhete [0000-0002-3525-7776], EESC-USP, São Carlos, Brasil. natalia.canhete@usp.br

Ana Carolina Gomes Pereira [0000-0001-5532-0106], EESC-USP, São Carlos, Brasil. ana.gomes.pereira@usp.br

Leonardo Meneghetti Sani [0000-0002-7012-8347], FFLCH-USP, São Paulo, Brasil. leonardo.sani@usp.br

Leonardo Fernandes Cesar [0000-0001-9659-391X], EESC-USP, São Paulo, Brasil. leo.cesar@usp.br

Resumo – *A partir do contexto da urbanização, é de fundamental importância definir abordagens multidisciplinares para a construção de conhecimento científico sobre os espaços urbanos para prover suporte à decisão em políticas públicas focadas em novos paradigmas e estratégias associadas à melhoria da qualidade de vida urbana. Para tanto, as tecnologias de informação e comunicação cumprem um papel essencial. Todavia, tais aplicações tecnológicas ainda são escassas e há uma defasagem entre os dados disponíveis para monitoramento anual e sua utilização no planejamento ambiental urbano, sendo que a generalidade dos governos municipais enfrenta dificuldades para a modernização da gestão no mesmo ritmo que o avanço tecnológico global. Em meio à emergência da questão ambiental urbana, a produção de informação espacial a partir de novas tecnologias de sensoriamento remoto, sistemas digitais inteligentes e processamento de dados em nuvem, disponibiliza informações atualizadas com baixo custo operacional, alto rigor técnico e bom nível de detalhamento espaço-temporal. O presente capítulo apresenta a proposta metodológica de construção de métricas e indicadores para uma plataforma customizada de monitoramento ambiental intraurbano (Plataforma UrbVerde), com ênfase na autonomia do usuário, para monitorar a dinâmica ambiental intra-urbana dos municípios que compõem o Estado de São Paulo, Brasil. Em um segundo momento, são apresentados os desafios metodológicos para transferibilidade da tecnologia proposta pela Plataforma UrbVerde de forma a responder às questões intrínsecas a outras configurações socioespaciais no âmbito Ibero-americano, em especial os terri-*

tórios sede das instituições parceiras da rede Cyted RUN, considerando a definição de olhares comparativos e relacionais, assim como a construção e consolidação de uma rede colaborativa (entre cientistas, técnicos, políticos e decisores, organizações sociais e comunidades.

Palavras-chave – Monitoramento ambiental urbano, sistemas digitais inteligentes, computação em nuvem, sensoriamento remoto, redes colaborativas.

Resumen - Desde el contexto de la urbanización, es de fundamental importancia definir enfoques multidisciplinarios para la construcción de conocimiento científico sobre los espacios urbanos para apoyar la toma de decisiones en políticas públicas enfocadas en nuevos paradigmas y estrategias asociadas al mejoramiento de la calidad de vida urbana. En este sentido, las tecnologías de la información y la comunicación juegan un papel fundamental. Sin embargo, tales aplicaciones tecnológicas aún son escasas y existe una brecha entre los datos disponibles para el monitoreo anual y su uso en la planificación ambiental urbana, y la mayoría de los gobiernos municipales enfrentan dificultades para modernizar la gestión al mismo ritmo que el avance tecnológico global. En medio del surgimiento del tema ambiental urbano, la producción de información espacial a partir de nuevas tecnologías de teledetección, sistemas digitales inteligentes y procesamiento de datos en la nube, brinda información actualizada con bajo costo operativo, alto rigor técnico y buen nivel de detalle.-temporal. Este capítulo presenta la propuesta metodológica para la construcción de métricas e indicadores para una plataforma personalizada de monitoreo ambiental intraurbano (Plataforma UrbVerde), con énfasis en la autonomía del usuario, para monitorear la dinámica ambiental intraurbana de los municipios que componen el Estado de São Paulo, Brasil. En un segundo momento, se presentan los desafíos metodológicos para la transferibilidad de la tecnología propuesta por la Plataforma UrbVerde para responder a interrogantes intrínsecos a otras configuraciones socioespaciales en el contexto iberoamericano, en particular los territorios sede de las instituciones socias de la red Cyted RUN, considerando la definición de visiones comparativas y relacionales, así como la construcción y consolidación de una red colaborativa (entre científicos, técnicos, políticos y decisores, organizaciones sociales y comunidades).

Palabras clave – Monitoreo ambiental urbano, sistemas digitales inteligentes, computación en la nube, teledetección, redes colaborativas.

1. INTRODUÇÃO E MOTIVAÇÃO

De 1985 e 2021, a área urbanizada brasileira passou de 2,10 milhões de hectares para 4,13 milhões (Mapbiomas, 2021). Parte considerável desse crescimento ocorreu sobre áreas ambientalmente sensíveis, como mananciais e áreas de proteção permanentes, comprome-

tendo a produção e a qualidade dos recursos hídricos, por exemplo[1]. Soma-se a isso ao fato de que a ausência de infraestruturas verdes urbanas, como praças, parques e arborização viária, contribuem para reduzir a percepção positiva da caminhabilidade nas cidades ao passo que potencializa o uso do automóvel e de outros meios de transportes individuais motorizados (Pereira *et al*., 2020). Esses comportamentos induzem ao sedentarismo[2], potencializando o surgimento e/ou agravamento de diferentes tipos de doenças crônicas (Booth, Roberts & Laye, 2012) e elevam a emissão de gases poluentes (Frank *et al*., 2006), contribuindo para a piora da qualidade do ar nas cidades, intensificando o efeito estufa e a formação das ilhas de calor (Lombardo, 1985).

O relatório divulgado recentemente pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, sigla em inglês para *Intergovernmental Panel on Climate Change*), aponta que, entre 2030 e 2052, a temperatura média global aumente em 1,5°C (IPCC, 2021), potencializando a ocorrência de eventos climáticos extremos, o que intensifica os períodos de secas e de chuvas torrenciais. Em última instância, são as cidades e as populações que nelas vivem que sofrerão os impactos dessas condições de maneira mais acentuada, exigindo, dos governos locais, maiores recursos humanos e financeiros para mitigar e/ou reverter seus efeitos. Diante desse contexto, torna-se imprescindível a construção e a implementação de políticas públicas que sejam, ao mesmo tempo, mais assertivas e intersetoriais (considerando alcançar, em múltiplos aspectos, a melhoria das condições de vida dos cidadãos). Para tanto, são necessários dados e informações que possam ser facilmente levantados, subsidiando a tomada de decisões e o monitoramento continuado das políticas públicas.

A produção de informação espacial a partir de novas tecnologias de sensoriamento remoto, sistemas digitais inteligentes e processamento de dados em nuvem, disponibiliza informações atualizadas com baixo custo operacional, alto rigor técnico e bom nível de detalhamento espaço-temporal. O conjunto de novas tecnologias baseadas em computação em nuvem e que vêm sendo exploradas a partir do GEE - Google Earth Engine - abrem uma janela de oportunidades para a construção de plataformas customizáveis, com análise espaciais complexas e escala de trabalho adequada à compreensão do espaço intraurbano. Subsequente, o presente capítulo procura apresentar a proposta de construção de uma plataforma customizada de monitoramento ambiental intraurbano (Plataforma UrbVerde), com ênfase na autonomia dos usuários, visando o monitoramento das dinâmicas ambientais no contexto intraurbano dos 645 municípios que integram o Estado de São Paulo. A referida plataforma enseja ser uma metodologia de monitoramento anual das desigualdades socioespaciais na distribuição das áreas verdes urbanas e temas correlatos, de forma a aperfeiçoar o indicador de áreas verdes para os municípios de São Paulo aderentes ao Programa Município Verde Azul (PMVA) lançado, em 2007, pelo governo estadual paulista.

[1] De acordo com dados do Mapbiomas (2021), nos últimos 36 anos no Brasil, observou-se o dobro da ocupação urbana sobre as faixas de proteção permanente dos recursos hídricos.

[2] Um a cada quatro adultos e quatro entre cinco adolescentes não praticam atividades físicas, agravando os quadros de obesidade, considerada como a epidemia mundial do século XXI (WHO, 2020; 2021).

A partir do referencial de Spirn (1995) e do Objetivo do Desenvolvimento Sustentável nº 11 (tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis), busca-se trabalhar uma ferramenta disruptiva e inovadora, para o fornecimento de elementos necessários para monitorar a natureza que permeia as cidades paulistas a partir das suas desigualdades socioespaciais. O objetivo final é favorecer um planejamento ambiental espacialmente mais inclusivo para a constituição de infraestruturas verdes, parques lineares e projetos de arborização urbana. Sem desconsiderar a presença de dinâmicas espaciais e temporais locais, os processos envolvidos na construção da Plataforma UrbVerde, desde a aquisição dos dados, ao seu processamento e a disponibilização dos resultados alcançados, podem ser reproduzidos em diferentes contextos. É a partir dessa lógica que procurar-se-á encorajar os coletivos de pesquisadores a empreenderem projetos colaborativos, visando à transferibilidade, a co-participação e a co-criação da Plataforma UrbVerde em âmbito ibero-americano a partir da rede Cyted RUN.

Para tanto, são considerados os impasses e os desafios científicos para a construção de uma base de dados comum que, ao visar o desenvolvimento de investigações colaborativas, comparadas e relacionais, paralelamente, tenciona prover subsídios e respostas às exigências globais contemporâneas de construção de cidades resilientes e sustentáveis, assim como ofertar os meios informacionais para subsidiar os diferentes interessados (governos, sociedade civil, etc.) em seus campos de atuação. A estruturação das sociedades em rede, conforme identificada por Castells (1999) ao final do século XX, configura-se a partir das transformações tecnológicas[3]. Nesse sentido, longe de querer homogeneizar a ferramenta que aqui se propõe, coloca-se como desafio a maneira como esta poderá ser apropriada e redefinida para responder às questões intrínsecas a outras configurações socioespaciais.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Unidade de análise

Visando apreender as dinâmicas intraurbanas dos 645 municípios do Estado de São Paulo, a unidade de análise utilizada será o setor censitário, com área de ponderação de 400 domicílios, disponibilizado pelo IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - para o levantamento do censo demográfico de 2010. Do total de 68.296 setores, são conside-

[3] Segundo Castells (1999:37) os "contornos de uma sociedade globalizada centrada no uso e aplicação da informação e na qual a divisão do trabalho se efetua, não tanto segundo jurisdições territoriais (embora isso também continua a ocorrer), mas sobretudo segundo um padrão complexo de redes interligadas". Pensando na atual configuração social global e na premissa destacada pelo autor sobre as redes, o presente projeto reserva, para além da sua replicação metodológica, a transferibilidade na composição colaborativa e participativa por meio de parcerias acadêmicas e da sociedade civil, que poderá contribuir para a construção de um conjunto de informações cuja relevância será detalhada ao longo deste capítulo.

rados apenas aqueles com ocupação predominantemente urbana, a partir da metodologia proposta por Justiniano *et al.* (2022). A partir dessa pormenorização, diversos recortes são possíveis para o desenvolvimento de leituras urbanas, incluindo bacias hidrográficas, divisões distritais e de bairros, etc.

Arcabouço ferramental

O arcabouço ferramental adotado inclui softwares de código aberto, como QGIS, plataformas de processamento em nuvem voltadas à pesquisa, como o Collaboratory e Earth Engine do Google, além de fontes de dados públicos como imagens dos satélites Sentinel II, Landsat 8 e dados do IBGE. Segundo Gorelick et al. (2017), o Google Earth Engine (GEE) é uma das principais ferramentas quando se trata de processamento em larga escala, utilizando Cloud Computing. Baseado em uma interface de programação, o seu ambiente de trabalho possui uma extensa biblioteca de produtos de sensoriamento remoto, além de bancos de dados sobre informações geográficas e estatísticas desenvolvidos por universidades, órgãos governamentais, iniciativa privada e terceiro setor. Todo esse aparato encontra-se reunido em uma única ferramenta disponível online, sem a necessidade de instalação de softwares. Assim como, o Google Earth democratizou o acesso popular à visualização dos mosaicos de imagens satelitais desde 2004, o Google Earth Engine gerou um grande impacto na cadeia de produção científica à partir de 2015, ao facilitar o emprego de recursos na nuvem para elaboração de produtos cartográficos, especialmente os ligados à questão ambiental, sendo o Brasil o terceiro país no mundo com o maior número de artigos publicados utilizando a plataforma segundo levantamentos recentes (Kumar & Mutanga, 2018).

Bases de dados utilizadas

As bases de dados utilizadas para a composição das camadas de informações presentes na Plataforma UrbVerde são provenientes de diferentes fontes. Os dados de temperatura e de vegetação provêm das imagens dos satélites Landsat 8 e Sentinel II, entre os anos de 2016 e 2021. Também serão utilizados dados demográficos e socioeconômicos levantados pelo último censo demográfico, realizado em 2010 (IBGE, 2010). Relativamente às infraestruturas intraurbanas verdes, está sendo utilizado um banco de dados vetoriais construído a partir de informações relativas às praças, parques e áreas verdes extraídas da plataforma colaborativa *OpenStreetMap* para o ano de 2021. Os dados contribuirão para a composição de indicadores para três diferentes camadas: i) temperatura de superfície terrestre (TST); ii) cobertura vegetal e qualidade socioambiental; e iii) acesso à infraestrutura verde.

i) Temperatura de superfície terrestre (TST)

No que se refere às informações da Temperatura de Superfície Terrestre (TST), a prospecção em estudos do território francês[4] subsidiou os indicativos de temperaturas, ilhas de calor, e sobreposição de outras métricas e indicadores, tais como o de vegetação e presença de parques e áreas verdes, que atuam diretamente na variação climática local-metropolitana. As métricas de temperatura têm como objetivo a quantificação da temperatura máxima, mínima e média, amparadas na utilização de rasters (Landsat 8[5]), cuja sensibilidade do sensor é capaz de captar ou de imaginar a quantidade/incidência de radiação eletromagnética na superfície terrestre, e codificadas em valores radiométricos que se traduzem na escala de graus Kelvin (°K). A visualização cartográfica sugestiva para a identificação das temperaturas mínimas/máximas/médias se dará por meio de heatmap(s) ou interpoladores de densidade (kernel) que criam um agrupamento de pixels similares em classes de temperaturas (Figura 1).

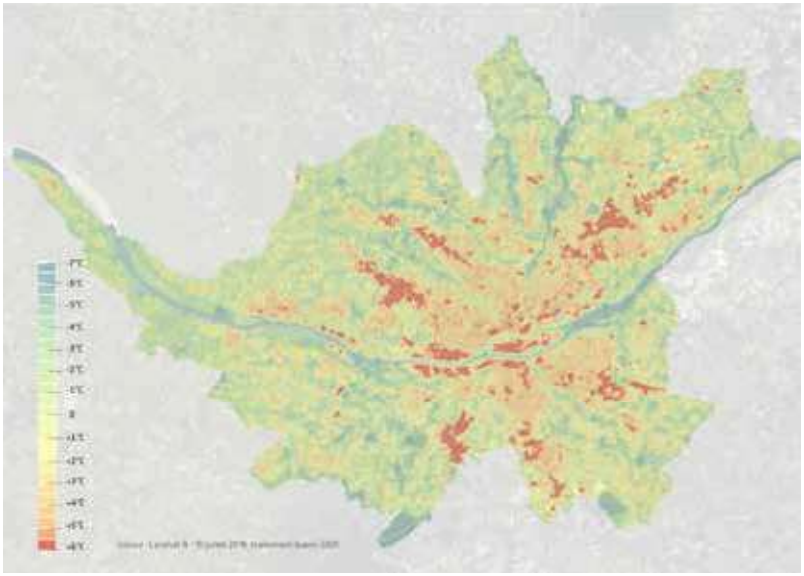

Figura 1: Quantificação da temperatura com imagens Landsat 8. Fonte: Auran, 2020.

[4] Os estudos no território francês realizados pela Auran (2020:5), contemplam o referencial teórico preliminar deste capítulo e sua "análise de imagens de satélite feita mostra que as temperaturas médias em áreas comuns variam em quase 5°C na escala da Metrópole de Nantes (+2,8°C para Rezé e +2°C para Nantes em comparação com a média para 24 municípios contra -1,5°C para La Chapelle- sur-Erdre e -2°C para Le Pellerin). Dentro da área metropolitana de Nantes, 5,1% das superfícies têm temperaturas mais altas em +5°C em comparação com média em comparação com quase 11,8% para a cidade de Nantes. Mas essas médias mascaram a realidade das situações locais extremamente contrastantes. Com quase 24 ilhas de calor de mais de 25 hectares identificados em toda metrópole, aparecem ilhas de calor extremamente fragmentadas"

[5] Do ponto de vista metodológico, as técnicas e análises desenvolvidas à escala municipal de Salvador-BA por Santos et al. (2021:102) permitem a elaboração da TST. Tal estudo utilizou "imagens do satélite Landsat-8 (L8), capturadas pelo sensor orbital da Banda 10 (B10), [...] todas as imagens disponíveis no sistema do L8, escaneadas pelo sensor B10, no período de sete anos entre 2013 e 2019".

A TST é extraída da banda 10, do sensor TIRS embarcado no satélite Landsat 8, com resolução espectral variando entre 10,6 e 11,9 µm e resolução espacial de 100 metros, reamostrado para 30 metros. Os níveis de cinza das imagens disponibilizadas pela NASA, a fim de ocuparem espaços mínimos de armazenamento, são fornecidos como número digital (DN, digital number, em inglês), variando de 0 a 65.536 (valor resultante de 2^{16}) e, de acordo com a equação de conversão desenvolvida pela NASA, é possível extrair a temperatura de superfície transformando esses números em radiância de energia espectral (Qin, Karnieli & Berliner, 2001) (Equação 1). Em seguida, pela inversão da equação de Plank aplicada aos corpos de radiadores seletivos, a imagem de radiância da banda 10 é convertida em valores de temperatura em Kelvin (K). Posteriormente, é realizada a conversão da temperatura de Kelvin para Celsius (°C) (Equação 2).

$$L = \frac{(L_{máx(\lambda)} - L_{mín(\lambda)})}{Qcal_{máx} - Qcal_{mín}}(DN - Qcal_{mín}) + L_{mín(\lambda)}$$

(Equação 1)

$$T = \frac{k_2}{\ln\left(\frac{\varepsilon k_1}{L} + 1\right)} - 273{,}15$$

(Equação 2)

Na equação 1, Lλ é a radiância espectral, Lmáx(λ) e Lmín(λ), são a radiância máxima e a mínima detectadas pelo sensor no comprimento de onda do infravermelho. Qcalmáx e Qcalmín, são a quantização máxima e a mínima do sensor, que se referem aos possíveis valores a serem registrados em cada pixel. Na equação 2, k1 = 774,89W/m2*sr*µm e k2 = 1321,08W/m2*sr*µm são as constantes de calibração inerentes a banda termal do Landsat-8, e ε = 0,95 é a emissividade média da área, valor adotado considerando as características construtivas urbanas (Santos, 2018).

ii) Cobertura vegetal e qualidade socioambiental

Os dados utilizados para o cálculo e extração de informações sobre vegetação terão origem nas imagens do satélite Sentinel II, que engloba o seu lançamento em 2015 e sua disponibilização contínua e gratuita, sendo este o horizonte temporal abarcado pela UrbVerde. Com período de revisita de 5 dias (resolução temporal) e disponibilidade de imagens a partir 2016, a missão Sentinel II possibilita a criação de ortomosaicos para extração de informações associadas ao tipo e qualidade de vegetação observada, por meio da análise das respostas espectrais relacionadas ao infravermelho próximo, uma vez que essa grande quantidade de observações anuais permite contornar o problema de nuvens e a construção de dados agregados anualmente, caracterizando a resolução temporal proposta pela UrbVerde. As imagens do Sentinel II são a base de extração do índice de vegetação com diferença normalizada (Normalized Difference Vegetation Index – NDVI) que integra o projeto. Além disso, a série de imagens do satélite Landsat 8, cuja resolução

espacial é de 30m e a temporal de 16 dias, serão utilizadas para a obtenção da fração de vegetação por pixel pelo método Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) (técnicas discutidas por Pedrassoli, 2016; Small, 2004; Small; Milesi, 2013). A desmixagem espectral possibilita o cálculo da proporção de vegetação que compõe cada pixel individualmente, e este dado é necessário para os posteriores cálculos do ICV e PCV, que relacionam quantidade de vegetação por habitante e por área (Figuras 2 e 3).

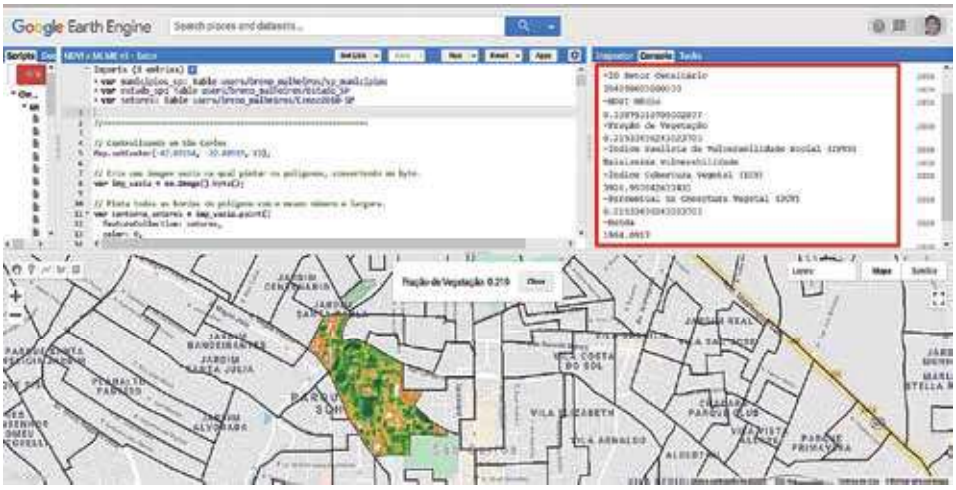

Figura 2: Interface de desenvolvimento da plataforma UrbVerde com o ICV, PCV e demais indicadores que estão sendo produzidos para a base de dados do projeto.
Fonte: Elaborado pelos autores, 2021.

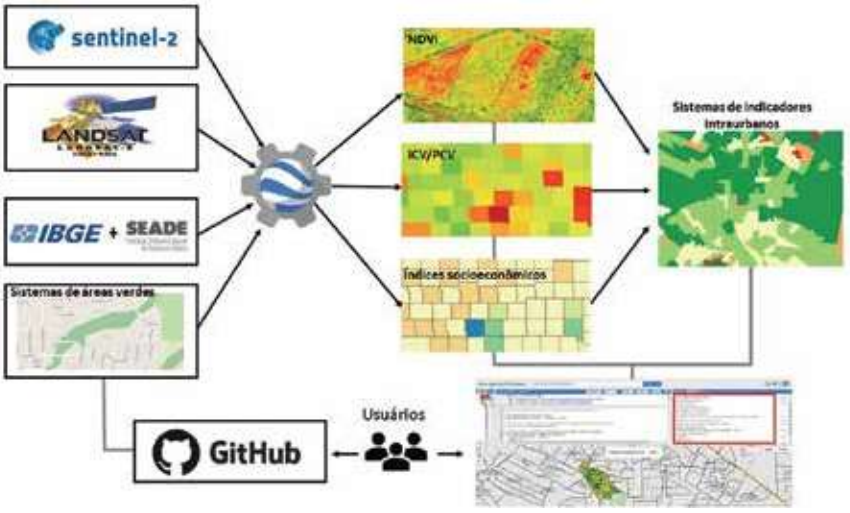

Figura 3: Esquema conceitual do tema cobertura vegetal e qualidade socioambiental.
Fonte: Elaborado pelos autores, 2021.

O Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) possui o pressuposto de que todo pixel é composto pela combinação linear da resposta espectral dos diversos alvos em seu interior (Shimabukuro & Smith, 1991). Um pixel "puro" seria aquele que recobre completamente uma área composta por um único alvo (ex.: vegetação, solo exposto, água, neve, etc.). Conhecendo-se as características espectrais de um determinado material alvo torna-se possível a decomposição dos valores de contribuição de cada material para o valor final registrado na resposta espectral de um determinado pixel, processo conhecido como decomposição espectral, na qual são adotados modelos que permitem a decomposição do pixel e identificação da fração correspondente a cada material de interesse (*endmembers*), como mostra a Figura 4.

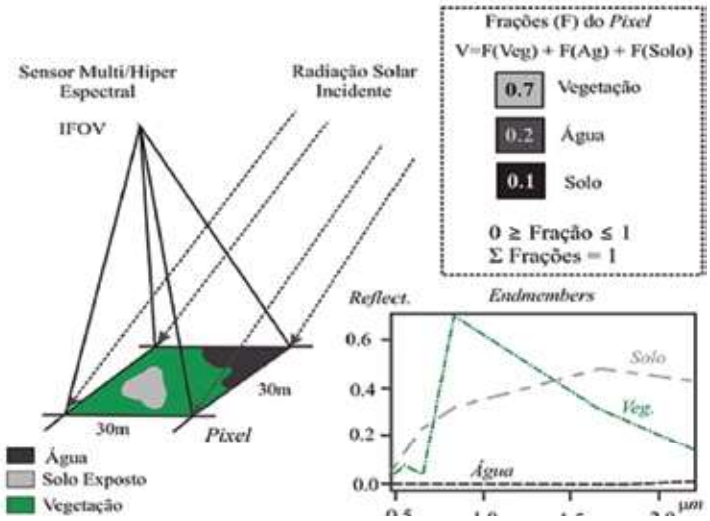

Figura 4: Decomposição perfeita de um MLME supondo um pixel de 30m de resolução espacial e com três componentes: vegetação, água e solo. Caso em que o resíduo do modelo é zero. Fonte: Kawakubo, 2010.

Cada membro de referência (*endmember*) indica o comportamento do material puro. Como exemplo temos um pixel contendo somente solo, sombras ou vegetação. Cada tipo de *endmemeber* está relacionado a uma fração espectral que se deseja obter, e para a determinação matemática do sistema é necessário que o número de bandas da imagem seja ao menos uma a menos que o número de frações espectrais que se deseja extrair. Assim, no caso exemplo de se tentar obter três frações espectrais, cada uma relacionada a um material ou característica da imagem, são necessárias ao menos duas bandas para a definição do modelo matemático. A reflectância espectral nesse modelo pode ser descrita como a combinação linear dos componentes do espectro (Settle & Drake, 1993; Roberts *et al.*,1996; Batistella *et al.*, 2004; Small, 2005; Shimabukuro et al., 2005, Wenze *et al.*, 2006; Kumar *et al.*, 2013), como apresentado na equação 3:

$$f1C1(\lambda)+f2C2(\lambda)\ (\lambda)+...\ fn\ C(n\ )\ (\lambda)=\ R(\lambda)$$

(Equação 3)

Sendo R o perfil de reflectância observado, uma função contínua do comprimento de onda; C são os Componentes (endmembers) espectrais; *f* são as frações correspondentes aos n Componentes. Além disso, dados sociodemográficos advindos do IBGE agregados em setores censitários (tais como renda, acesso à água, esgoto, etc.) serão utilizados para a construção de indicadores socioeconômicos, a partir da metodologia proposta por Morato (2008). O índice final será combinado a partir de uma média aritmética, seguindo a lógica da construção de índices como o IDH (Figura 5).

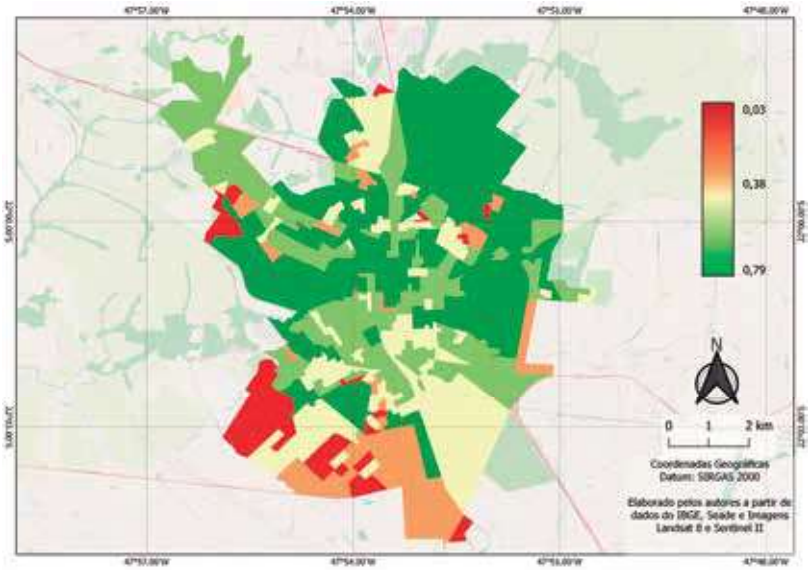

Figura 5: Indicador de qualidade socioambiental para São Carlos, SP (2020).
Fonte: Elaborado pelos autores, 2021.

iii) Acesso à infraestrutura verde

Os sistemas de áreas verdes urbanas desempenham diversas funções relacionadas às necessidades ecológicas e psicossociais. Eles têm papel importante na regulação microclimática e na manutenção de padrões de biodiversidade, bem como são nexos de conexão entre pessoas e, conjuntamente, todos estes aspectos têm um impacto significativo na saúde da cidade e do bem-estar coletivo. Para a identificação da infraestrutura verde do Estado de São Paulo, foram coletadas informações de praças, parques e áreas verdes junto ao *OpenStreetMap*, perfazendo mais de 22 mil polígonos. Com base na área desses equipamentos será possível uma análise de sua distribui-

ção por habitantes para cada município do Estado. Considerando também os dados relacionados ao perfil demográfico e socioeconômico da população residente, serão construídos indicadores para mensurar as desigualdades no acesso e na cobertura dessa infraestrutura (Figura 6).

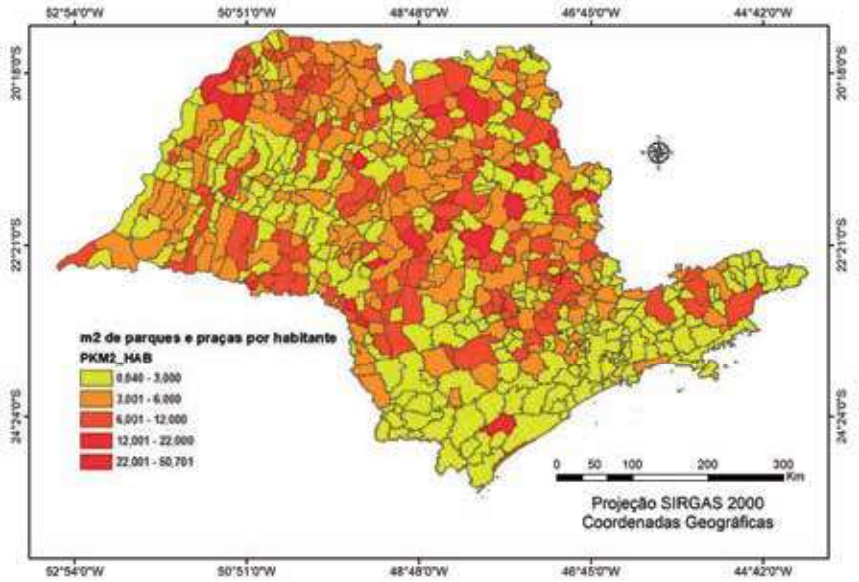

Figura 6: Distribuição de Parques e Praças por Habitante para os municípios no Estado de São Paulo. Fonte: elaborado pelos autores, 2021.

Para contribuir com essa interpretação, outras ferramentas de análise espacial serão utilizadas, como o Diagrama de Voronoi, de maneira a obter uma distribuição baseada em dados espaciais de um dado plano, para um dado conjunto de pontos. O diagrama representa a distribuição dos lugares geométricos mais próximos a cada ponto (Aurenhammer & Klein, 2000). Na prática, os polígonos formados pelo diagrama nos permitem identificar matematicamente as áreas de influência de cada um dos equipamentos. No caso de estudo da distribuição de parques e praças, o presente diagrama permitirá setorizar a área urbana em função desses equipamentos para todo o estado de São Paulo, como apresentado na Figura 6. Com isso é possível avaliar as desigualdades de acesso a esses equipamentos públicos, assim como planejar sua melhor distribuição no ambiente urbano (Figura 7).

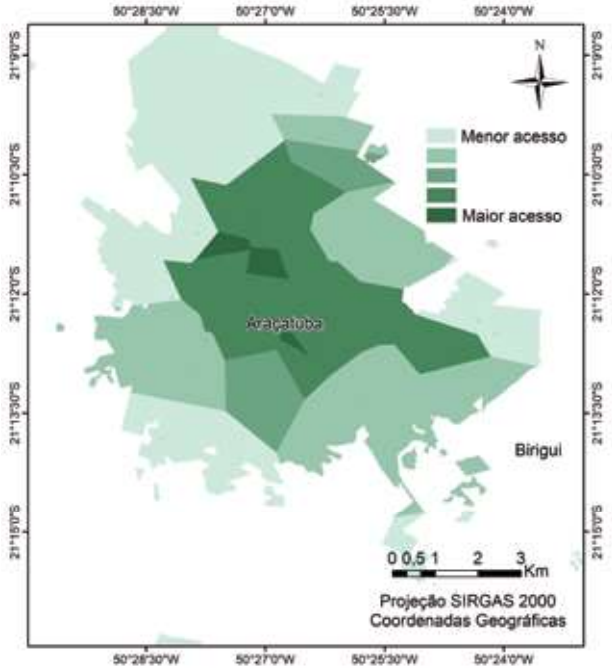

Figura 7: Diagrama de Voronoi aplicado aos parques e praças de Araçatuba, SP.
Fonte: elaborado pelos autores, 2021.

3. RESULTADOS E DESAFIOS ESPERADOS

Como resultado, espera-se apresentar uma plataforma (*website* e *sig web*) e uma metodologia de monitoramento. Com isso será possível produzir e disponibilizar coleções anuais de mapeamentos intraurbanos das desigualdades socioespaciais associadas à distribuição das áreas verdes e temas correlatos. Serão também gerados rankings e métricas comparáveis entre cidades, bairros, setores censitários e outras unidades territoriais. O olhar construído e voltado a medir as desigualdades intraurbanas, considerando indicadores socioeconômicos na distribuição de áreas verdes, permitirá ao poder público priorizar as áreas de maior vulnerabilidade de forma a promover à democracia urbana na perspectiva da igualdade e do bem-viver coletivo. Essa será a primeira experiência da América Latina de ganho de escala na produção e disponibilização dessa categoria de dados espaciais no âmbito intraurbano, incluindo ainda ferramental para análise em um formato que pode ser acompanhado e avaliado pelo poder público e pela sociedade civil.

Uma questão que se coloca enquanto desafios teórico, político, social e metodológico, é pensar a transferibilidade da Plataforma UrbVerde como algo possível de ser adequado às particularidades e singularidades do meio físico, e da organização das configurações socioes-

paciais abrangidas pelas pesquisas das universidades integrantes da rede Cyted RUN. Tais desafios apontam para as possibilidades futuras de incremento da plataforma, pensando não só nos potenciais de investigação, a partir de estudos comparativos e relacionais, mas também na co-criação e no co-desenvolvimento da plataforma no sentido de constituição de uma rede que amplifique o potencial inovativo dessa ferramenta. Visa-se provir de escalabilidade o ferramental que vem sendo proposto como protótipo no âmbito do estudo de caso brasileiro.

Considerando que uma rede de pesquisa pode se organizar a partir de distintas perspectivas teórico-metodológicas, incluindo desde uma abordagem que pode ser homogênea no tratamento de diferentes fenômenos a serem investigados até a construção de uma interdisciplinaridade que vise superar conhecimentos setoriais no avanço do pensamento científico, cumpre debatermos três questões essenciais: i) Como o pensar em rede permitirá amplificar as discussões a partir desses parâmetros?; ii) Como prover uma escala metodológica e de reflexão a partir de parcerias a serem estabelecidas no âmbito dessa rede?; e, iii) Como discutir o desenvolvimento e o aperfeiçoamento da plataforma também no suporte às políticas públicas articulado a uma dimensão participativa?

Atualmente, a disponibilidade universal, irrestrita e atualizada das imagens das famílias dos satélites Landsat e, principalmente, Sentinel II, trazem um bom nível de detalhamento considerando a hidrografia e o dimensionamento das áreas verdes e vegetação urbana. Tal disponibilidade, associada ao emprego de métodos e de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto e à plataforma de computação em nuvem GGE, pressupõem o acompanhamento e a produção de informações atualizadas que, podem e devem, ser apropriadas pelo poder público e pela comunidade, no sentido do seu empoderamento.

Mas, como explorar esse potencial para criar ambientes em que a participação social ocorra a partir da informação a ser provida e veiculada pela Plataforma UrbVerde, considerando a produção do protótipo do geoportal? Como as análises territoriais podem ser produzidas e associadas à participação por meio de propostas e contribuições? Como criar ferramentas interativas que forneçam informações sobre a qualidade dos espaços urbanos e sobre como qualificar esses espaços a partir do olhar comunitário? Com relação aos desafios teóricos, considerando que cada país, cada território, possui características distintas e singulares, cumpre colocar também em discussão como podemos, a partir de uma ideia e problemática comum aos rios urbanos, articular as diferentes áreas disciplinares e grupos para explorar esses contextos e oportunidades propiciadas pela computação em nuvem e novas técnicas de sensoriamento remoto? Como podemos ajustar e dinamizar, no âmbito da própria UrbVerde, a concretização dos nossos objetivos? Considera-se que engajar os parceiros integrantes da rede Cyted RUN a partir dessas questões, nos permitirá construir o ambiente de debate e inovação para respondê-las de forma adequada, materializando esse debate em soluções metodológicas e tecnológicas.

Considerar as distinções, singularidades e características de nossos territórios é algo que se apresenta como um grande desafio para a definição de parâmetros de análise que sejam comuns, mas que reconheçam essas diferenças. Isso nos tenciona a adotar o conceito de transferibilidade, onde os intercâmbios não estão na padronização de uma forma universal e única de olhar, mas em reconhecer e valorizar essas singularidades e características para construir e retroalimentar um ambiente inovador. Essa é uma questão fundamental. A partir de um tema, com diferentes contextos e especificidades territoriais, como trabalhar sobre uma problemática comum considerando o desenvolvimento do ferramental teórico, técnico e metodológico?

Finalizando, vale ressaltar que os territórios, em geral, apresentam um conjunto de informações em comum que permitem fazer comparações em alguns aspectos. Entretanto, a busca de caminhos que permitam comparar e relacionar a construção de indicadores socioambientais, apoiados em dados censitários e outras variáveis, esbarra nas distintas maneiras como os dados oficiais são produzidos, organizados e, também, nas distintas formas, metodologias e variáveis produzidas pelos países para abordar um tema comum. Daí pergunta-se: Como desenvolver o trabalho em rede considerando a construção de uma base de dados que seja a mais homogênea possível? Como definir indicadores que sejam universais e que ao mesmo tempo reconheçam e acomodem as diferenças e singularidades para pensarmos em abordagens comparativas e relacionais?

As respostas para essas perguntas não podem ser dadas de forma imediata, elas precisam ser construídas e amadurecidas a partir de um contínuo esforço intelectual e coletivo que resultará na construção da Plataforma UrbVerde e na definição de seus suportes de usabilidade pelo público.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Auran (2020). Les synthèses de l'Auran: 40 °C À L'Ombre: Faut-Il Craindre de Vivre Dans Un Climat Plus Chaud? Auran - Agence d'Urbanisme de la Région Nantaise. n°58. Traduzido por Daniel José de Andrade. Disponível em: https://www.auran.org/sites/default/files/publications/documents/s58_ilots_chaleur_urbains_vff.pdf. Acesso em: 16/02/2022.

Aurenhammer, F., Klein, R. Voronoi diagrams. In: Handbook of Computational Geometry. Pgs. 201–290. (Orgs) J.-R. Sack and J. Urrutia. Elsevier Science Publishers, B.V. North-Holland, Amsterdam, 2000.

Booth, F.W., Roberts, C. K., & Laye, M. J. (2012). Lack of Exercise Is a Major Cause of Chronic Diseases. Comprehensive Physiology. 2012. https://doi.org/10.1002/cphy.c110025

Castells, M. (1999) A sociedade em rede. Manuel Castells - Tradução Roneide Venâncio Majer atualização para 6ª edição: Jussara Simões (A era da informação: economia, sociedade e cultura, v.1). São Paulo: Paz e Terra.

Frank, L. D., Sallis, J. F., Conway, T. L., Chapman, J. E., Saelens, B. E., Bachman & W. (2006). Many Pathways from Land Use to Health: Associations between Neighborhood Walkability and Active Transportation, Body Mass Index, and Air Quality. Journal of the American Planning Association, 72(1), 75–87. https://doi.org/10.1080/01944360608976725

Gorelick, N., Hancher, M., Dixonb, M., Ilyushchenko, S., Thaub, D., Moore, R. (2016). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone, Remote Sensing of Environment , doi: 10.1016/j.rse.2017.06.031

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas. (2010). Censo demográfico 2010. Rio de Janeiro, IBGE.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021). Climate change 2021: The physical science basis. Summary for policymakers. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_final.pdf. Acessado em: 18 de fev. 2022.

Justiniano, E. F., Santos Junior, E. R., Melo, B. M,, Siqueira, J.V. N., Morato, R. G., Fantin, M., Pedrassoli, J. C., Martines, M. R., & Kawakubo, F. S. (2022). Proposal for an index of roads and structures for the mapping of non-vegetated urban surfaces using OSM and Sentinel-2 data, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, Volume 109. https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.102791.

Kawakubo, F. S. (2010). Metodologia de classificação de imagens multiespectrais aplicada ao mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal na Amazônia: exemplo de caso na Região de São Félix do Xingu, no Pará. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. São Paulo.

Kumar, L., & Mutanga, O. (2018). Google Earth Engine Applications Since Inception: Usage, Trends, and Potential. Remote Sensing, 10(10), 1509. https://doi.org/10.3390/rs10101509

Kumar, U., Raja Kumar, S., Mukhopadhyay, C., Ramachandra, T.V. (2013) Assimilation of endmember variability in spectral mixture analysis for urban land cover extraction. Advances in Space Research 52, 2015–2033.

Lombardo, M. A. (1985). Ilhas de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo. São Paulo: HUCITEC.

MapBiomas. (2021). Projeto MapBiomas - Mapeamento anual de cobertura e uso da terra do Brasil. Coleção 6. Disponível em: https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/MapBiomas _Infra_Urbana_Novembro_2021_04112021_OK_Alta.pdf. Acessado em: 18 de fev. 2022.

Morato, R. G. (2008). Análise espacial e desigualdade ambiental no município de São Paulo. 2008. Tese (Doutorado em Geografia Humana) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo. https://doi.org/10.11606/T.8.2008.tde-25112009-112210

ONU - Organização das Nações Unidas (2019). ONU prevê que cidades abriguem 70% da população mundial até 2050. ONU News Perspectiva Global Reportagens Humana. Disponível em: https://news.un.org/pt/story/2019/02/1660701. Acessado em: 18 de fev. 2022.

Pedrassoli, J. C. (2016). Habitação e sensoriamento remoto: uma análise da expansão urbana da RMSP por meio de imagens de satélite aplicando o modelo linear de mistura espectral. 2016. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. São Paulo.

Pereira, M.F., Almendra, R., Vale, D. S., & Santana, P. (2020). The relationship between built environment and health in the Lisbon Metropolitan area – can walkability explain diabetes' hospital admissions? J. Transp. Heal. 18, 100893. https://doi.org/10.1016/J.JTH.2020.100893

Qin, Z., Karnielli, A., Berliner, P. (2001). A mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM data and its application to the Israel-Egypt border region spectral. Int. J. Remote Sensing, (22), 18: 3719-3746.

Santos, R. A. (2018). Cobertura vegetal e a temperatura de superfície no meio Intraurbano: um estudo em Salvador. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Ambiental - Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia.

Santos, R. A., Branco,N. L., Pedrassoli, J. C., Zangalli JR, P. C., Oliveira, M. M. (2021). O verde, o clima e a desigualdade socioambiental em Salvador. Em Elisabete Santos et al. (Org.) QUALISalvador: qualidade do ambiente urbano na cidade da Bahia. Salvador: Edufba.

Shimabukuro, Y.E., Smith, J.A. (1991). The least-squares mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 29:16-20.

Small, C. (2004). The Landsat ETM+ spectral mixing space. Remote Sensing of Environment, (93), 1-2: 1-17.

Small, C., Milesi, C. (2013). Multi-scale standardized spectral mixture models. Remote Sensing of Environment, (136): 442–454.

Spirn, A. W. (1995) O Jardim de Granito: A Natureza no Desenho da Cidade. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo.

WHO - World Health Organization (2021). Obesity and overweight. Disponível em: https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight. Acessado em: 18 de fev. 2022.

WHO (2020). Physical activity. Disponível em: https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/physical-activity. Acessado em: 18 de fev. 2022.