

GEOTECNOLOGIAS APLICADAS À IDENTIFICAÇÃO DE VIZINHANÇAS RESILIENTES NO CONTEXTO DA ARBORIZAÇÃO URBANA: ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE POÇOS DE CALDAS, MG

Geotechnologies applied to the identification of resilient neighbourhoods in the context of urban arborization: a case study in the municipality of Poços de Caldas, MG

João Vitor Roque Guerrero

Geógrafo, Pesquisador de Pós-Doutorado na Universidade Federal de Goiás, Brasil

jvguerrero2@gmail.com

Michel Chaves

Geógrafo, Professor Assistente Doutor na Universidade Estadual Paulista – Escola de Ciências e

Engenharia de Tupã, Brasil

michel.dantas@unesp.br

Fernando Kawakubo

Geógrafo, Professor Doutor na Universidade de São Paulo, Brasil

fsk@usp.br

Rúbia Gomes Morato

Geógrafa, Professora Doutora na Universidade de São Paulo, Brasil

rubiagm@usp.br

Daniel Caiche

Engenheiro Florestal, Pesquisador de Pós-Doutorado na Universidade de São Paulo, Brasil

dtcaiche@usp.br

Fabrizia Gioppo Nunes

Geógrafa, Professora Associada na Universidade Federal de Goiás, Brasil

fabrizia@ufg.br

Recebido: 09/04/2024

Aceito: 28/10/2024

Resumo

Este estudo teve o objetivo de identificar vizinhanças resilientes frente aos iminentes impactos causados pelas mudanças climáticas no contexto da arborização urbana, visando contribuir com o processo de tomada de decisão dos gestores públicos, tomando como estudo de caso o município de Poços de Caldas, MG. Para tal, foi proposto um modelo pautado utilização de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento para mapear as florestas urbanas e os espaços verdes, identificar o grau de cobertura florestal em cada setor censitário, mapear a distância de cada setor a um espaço verde e, por fim, integrar esses parâmetros para identificar o grau de resiliência em cada setor censitário. Os resultados indicaram uma relação entre quanto maior o grau de urbanização, menor a resiliência, enquanto áreas menos urbanizadas ainda mantêm maiores quantidades de árvores, o que reflete em melhores condições aos moradores.

Palavras-chave: Arborização Urbana, Mudanças Climáticas, Resiliência Urbana, Geotecnologias.

Abstract

This study aimed to identify resilient neighbourhoods in the face of imminent impacts caused by climate change in the context of urban afforestation, aiming to contribute to the decision-making process of public managers, taking the municipality of Poços de Caldas, MG, as a case study. To this end, a model was proposed based on the use of remote sensing and geoprocessing techniques to map urban forests and green spaces, identify the degree of forest coverage in each census sector, map the distance of each sector to green space and, therefore, Finally, integrate these parameters to identify the degree of resilience in each census sector. The results indicated a relationship between the greater the degree of urbanization, the lower the resilience. At the same time, less urbanized areas still maintain greater quantities of trees, which results in better conditions for residents.

Keywords: Urban Greening, Climate Change, Urban Resilience, Geotechnologies.

1. INTRODUÇÃO

O relatório sobre o estado do clima global, produzido pela Organização Meteorológica Mundial (OMM, 2022), alerta sobre o aumento e os impactos das mudanças climáticas, apontando que os anos entre 2015 a 2022 foram os mais quentes dos últimos 173 anos onde há dados instrumentais, recordes de emissão de dióxido de carbono, metano e óxido nitroso (principais causadores do efeito estufa) e do aumento acima da média de eventos climáticos extremos. Além disso, o relatório enfatiza também, os impactos socioeconômicos de grande escala que já estão ocorrendo e tendem a agravar-se, tais como a perda de serviços ecossistêmicos, a insegurança alimentar e o deslocamento populacional (OMM, 2023).

Alavancando essas preocupações, o Sexto Relatório de Avaliação (AR6) do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2023) salienta que os impactos climáticos nos seres humanos, nos ecossistemas e nos consequentes serviços ecossistêmicos prestados são mais severos e abrangentes do que se previa, afirmando que a cada fração de elevação da temperatura, os riscos futuros associados são ainda maiores (IPCC,2023).

Neste contexto, é possível afirmar que os países da América do Sul estão altamente vulneráveis e já apresentam indícios de expressivos impactos causados pelas mudanças climáticas. Sobretudo, nessas nações, a situação é ainda mais agravada por condicionantes socioeconômicos tais como: pobreza extrema, desigualdade social, aumentos de população e adensamento demográfico, alterações de uso do solo baseadas em desmatamento e perdas da biodiversidade, além da forte dependência de recursos naturais, para mover as economias locais (Castellanos *et al.*, 2022).

Não obstante, o Brasil está especialmente exposto aos riscos das mudanças climáticas. No campo econômico, ainda é altamente dependente da agropecuária que, em geral, promove práticas com baixo grau de sustentabilidade, avançando suas fronteiras por meio do desmatamento (Banco Mundial, Map Biomas). Nas cidades, onde reside a maioria da população (IBGE, 2023), as perdas por eventos climáticos são ainda mais recorrentes e demandam, portanto, de ações mitigadoras urgentes, tendo em vista que 85% dos municípios brasileiros já relataram algum tipo de prejuízo relacionado (Banco Mundial).

Ao mesmo tempo que contribuem largamente para a emissão de gases do efeito estufa, as cidades brasileiras são particularmente afetadas pelos impactos das mudanças climáticas, por meio de processos de poluição do ar, aumento de temperaturas, e exposição a desastres como inundações e deslizamentos. Tais fatores tornam as zonas urbanas especialmente sensíveis, demandando a implementação de ações que visem atenuar os problemas e aumentem a resiliência de vida dos cidadãos (Espíndola e Ribeiro, 2020; UNWU, 2018; Braga, 2012). Assim sendo, e acolhida pelo Poder Jurídico Brasileiro, a Agenda 2030 proposta como uma ferramenta de mitigação às mudanças climáticas e sancionada no ano de 2015. Esse documento é um esforço promovido pela Organização das Nações Unidas (ONU), que propõe um pacto de atividades em prol do desenvolvimento sustentável em escala global e, sendo dividida em 17 objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS).

Os ODS constituem-se em estratégias para extinguir a pobreza, mitigar os impactos das mudanças climáticas, proteger o meio ambiente e assegurar que as populações humanas vivam em paz e prosperidade (ONU Brasil, 2023). Posto isto, pode-se inferir que as cidades brasileiras precisam de ações de adaptação para que se tornem mais resilientes aos desafios climáticos previstos. O IPCC define a resiliência climática como a habilidade dos sistemas sociais e/ou ecológicos de absorverem perturbações ao mesmo tempo, que mantém a mesma estrutura básica e formas de funcionamento, a capacidade de auto-organização e a capacidade de adaptação ao stress e à mudança (IPCC, 2007).

No que tange às melhorias em ambientes urbanos, visando a maior resiliência climática, o ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis) busca tornar as cidades e os assentamentos humanos mais inclusivos, seguros e sustentáveis e que, para tal, seja assegurado que os projetos de planejamento urbano e implementação de políticas públicas sejam sensíveis às questões ambientais e levem em conta os riscos climáticos em suas proposições (ONU Brasil, 2023; Buchala, 2018). Por sua vez, o Banco Mundial, em seu relatório sobre desenvolvimento e clima no Brasil, incentiva a arborização urbana como

instrumento de planejamento, citando os diversos benefícios urbanos dessas ações, principalmente na melhoria da qualidade de vida da população (Banco Mundial, 2023). Tal fato, pode ser comprovado no estudo de Marselle *et al.* (2021) que demonstram como a biodiversidade está diretamente relacionada à saúde humana. Na mesma linha, diversas outras pesquisas corroboram com a análise de que as árvores são essenciais para o cumprimento do ODS 11, tais como: Rodrigues *et al.* (2023); Zang e Brack (2021); Huff *et al.*; (2020); Buchala (2018) e Hartig *et al.* (2014) pois, de acordo com os referidos autores, à medida que atenuam a temperatura, melhoram a qualidade do clima, promovem serviços ecossistêmicos essenciais, aprimoram a saúde de quem tem acesso às mesmas, mitigam desastres climáticos, etc. Em suma, para Braubach (2017) a arborização urbana é uma solução baseada na natureza com efeitos positivos na saúde ambiental, equidade e resiliência.

Levando-se em consideração as referidas contribuições das florestas urbanas para a resiliência climática, em um contexto de necessidade de estudos que reforcem a prestação de serviços ecossistêmicos em ambientes urbanos, o objetivo deste estudo foi o de identificar vizinhanças resilientes em Poços de Caldas, município do sudeste brasileiro. Para tanto, foi aplicado em ambiente SIG o modelo teórico proposto por Konijnendijk (2023), que visa subsidiar políticas públicas de arborização urbana e contribuir para o cumprimento dos objetivos de desenvolvimento sustentável, na melhora da qualidade de vida da população.

Desta forma, entendem-se, por “vizinhanças resilientes”, as zonas de um município onde os moradores são mais beneficiados pelos serviços ecossistêmicos prestados pela arborização urbana, principalmente pela proximidade com árvores ou espaços verdes. Assim, é importante esclarecer que “vizinhanças mais resilientes”, termo adotado neste artigo, é uma terminologia que foi empregada às áreas com maior predisposição à mitigação climática e, portanto, são aquelas que estão mais adaptadas à resiliência de possíveis eventos, enquanto as “vizinhanças menos resilientes” expõe seus moradores a piores condições de vida (no quesito ambiental) e merecem maior atenção do poder público.

2. MATERIAIS E MÉTODO

2.1. Área de estudo

Localizado na mesorregião Sul/Sudoeste do Estado de Minas Gerais (Figura 1), o município de Poços de Caldas apresenta 546.95 km² de área, com uma população

estimada pelo Censo Demográfico de 2022 de 163.742 habitantes, o que representa uma densidade demográfica de 299,37 habitantes por quilômetro quadrado (IBGE, 2023). Visando investigar a resiliência das vizinhanças quanto à arborização urbana, foram analisados apenas os setores censitários do município diagnosticados como urbanos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020). Estes, são localizados, predominantemente, na porção central do município, ao sul da Serra de São Domingos, e possuem condições intrínsecas propícias para a presença de árvores, por estarem à altitude média de 1300 m, no Planalto de Poços de Caldas. Segundo Gouvea *et al.* (2014 - BASE) a geomorfologia local é constituída por um maciço rochoso de formato circular de 35 km de diâmetro e planalto montanhoso, de unidade morfoestrutural, formado sobre uma chaminé de rochas eruptivas alcalinas.

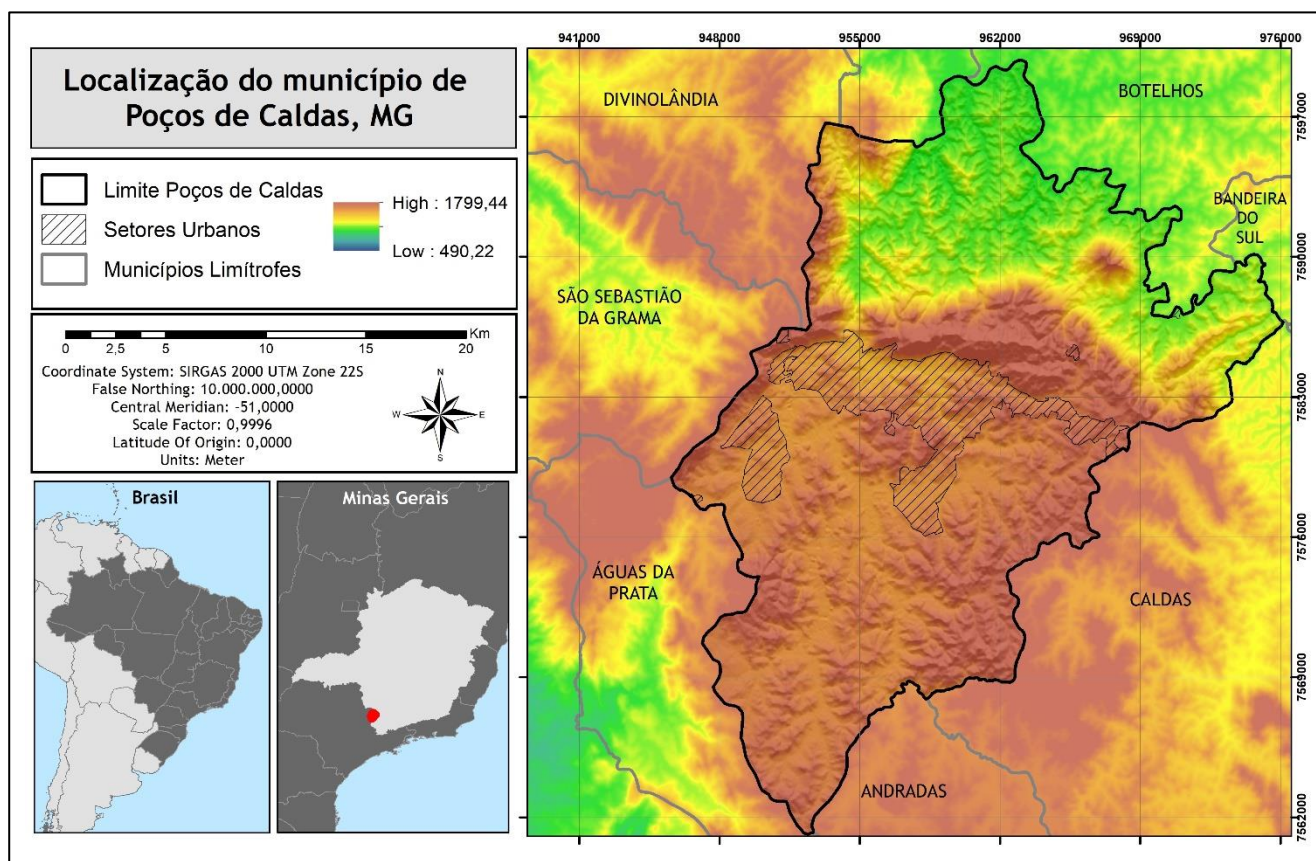


Figura 1 – Localização da área de estudo.

Fonte: Autores (2024).

2.2. Materiais Utilizados

Foram utilizados dois conjuntos de dados geoespaciais: imagens de sensoriamento remoto e dados de setores censitários urbanos (no formato shapefile) para o município de Poços de Caldas. As imagens foram geradas pela Câmera Multiespectral de Ampla

Varredura (WPM) a bordo do satélite CBERS 4A. O instrumento WPM gera imagens nas bandas espectrais P (0,45 - 0,90 μm), B1 (0,45 - 0,52 μm), B2 (0,52 - 0,59 μm), B3 (0,63 - 0,69 μm) e B4 (0,77 - 0,89 μm) com resolução espacial de 2 metros (pancromático) e 8 metros (multiespectral) e, quantização de 10 bits (INPE, 2023). As imagens do WPM foram escolhidas porque elas podem ser obtidas de forma gratuita, acessando o site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (www.dgi.inpe.br), além de fornecer detalhes geométricos da cobertura vegetal intraurbana. No presente estudo, foram utilizadas imagens com data de passagem correspondente a 12 de agosto de 2022, tendo sido aplicado um filtro menor que 2% de nuvens, visando minimizar as interferências atmosféricas nas consultas dos resultados.

Já os dados censitários correspondem aos limites dos setores censitários do ano de 2020, produzidos e disponibilizados gratuitamente pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020). Este dado corresponde a um produto cartográfico compatível com escalas de 1:5.000 a 1:250.000, sem supressão de pontos, de acordo com critérios técnicos preestabelecidos pelo IBGE/DGC/CETE, e que representa a menor porção de área utilizadas pelo IBGE para planejar, coletar e disseminar os resultados dos Censos e Pesquisas Estatísticas (IBGE, 2021).

2.3. Procedimentos Metodológicos

A proposta metodológica deste estudo foi baseada na adaptação das diretrizes de acesso à arborização em espaços urbanos propostas por Konijnendijk (2022), que se pautou na utilização de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento para identificar vizinhanças resilientes no contexto da arborização urbana no município de Poços de Caldas. Na análise, consideramos que as vizinhanças resilientes são aquelas que apresentam maior proximidade de árvores e espaços verdes, com consequente benefício dos serviços ecossistêmicos promovidos.

O trabalho foi estruturado em cinco etapas principais, apresentadas na Figura 2 e descritas posteriormente. As etapas seguiram um fluxo de atividades que envolvem: (i) levantamento e análise dos dados; (ii) mapeamento das florestas no ambiente urbano; (iii) estimativa da cobertura florestal presentes nos setores censitários; (iv) cálculo de distâncias que separam os fragmentos florestais e; (v) análise das áreas resilientes quanto à presença de vegetação.

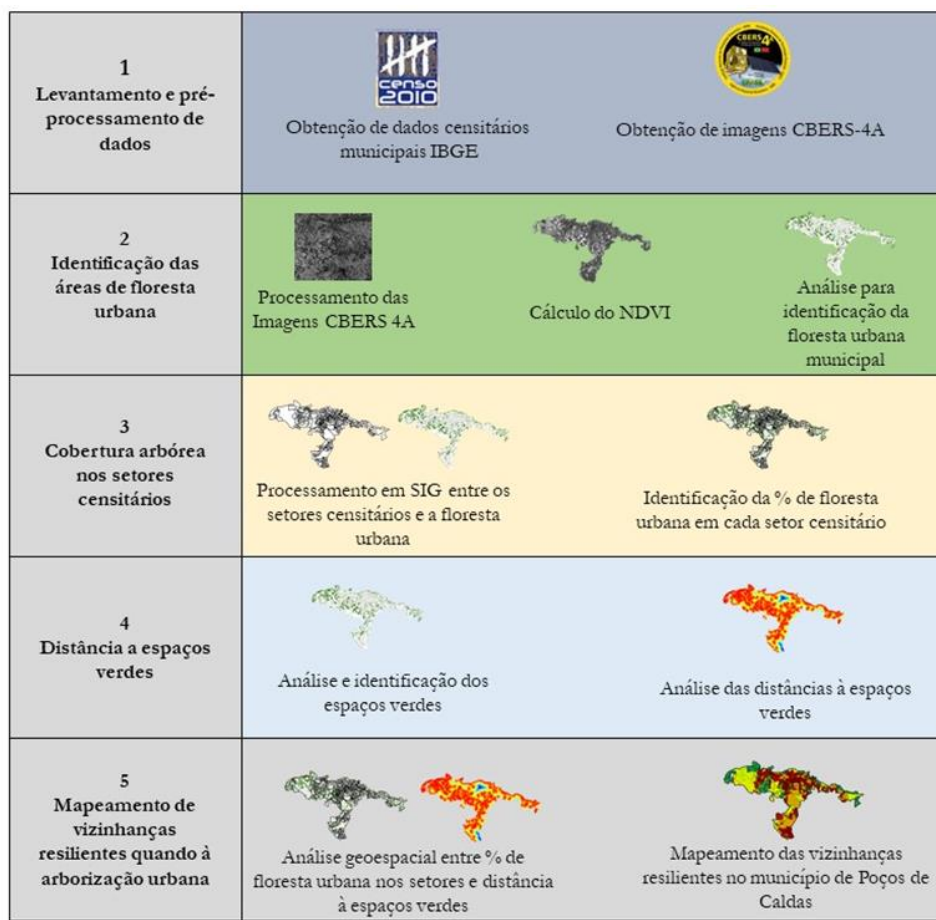


Figura 2 – Fluxograma com as etapas e atividades adotadas.
Fonte: Autores (2024).

2.3.1. Levantamento e pré-processamento de dados

Como já mencionado, os dados referentes aos setores censitários do município de Poços de Caldas foram obtidos no IBGE. Após, foi realizado um procedimento de padronização cartográfica, para que a camada (shapefile) apresentasse apenas os setores censitários considerados como urbanos. Sobre as imagens de satélite, após seu download no site do INPE (detalhado no item de materiais), foi realizado um processamento de recorte visando contemplar apenas a área de interesse e reprojeção para adequação com relação à base cartográfica, dos setores censitários, utilizada.

2.3.2. Identificação das áreas de floresta urbana no município

De acordo com a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura as florestas urbanas são definidas como todo o sistema dinâmico de árvores e outros tipos de vegetação que ocorrem em áreas urbanas e periurbanas (FAO, 2016), sendo altamente reconhecidas como soluções baseadas na natureza capazes de promover diversos

serviços ecossistêmicos, como regulação do clima, melhoria da qualidade do ar, aumento de biodiversidade, dentre outros Konijnendijk (2022).

A identificação e mapeamento das áreas de floresta urbana foi realizada por meio da aplicação do Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) (Rouse *et al.*, 1974) utilizando os canais do espectro do Vermelho (B3) e infravermelho próximo (B4) do satélite Sino-Brasileiro CBERS 4A. O NDVI foi originalmente proposto como parâmetro para fornecer por meio de imagens de satélite informações acerca da biomassa da vegetação e vigor vegetativo e tem como fórmula a Equação 1:

$$NDVI = (B4 - B3) / (B4 + B3) \quad (1)$$

Sendo:

B3 corresponde a banda do canal vermelho (0,63 - 0,69 μm);

B4 corresponde ao canal infravermelho próximo (0,77 - 0,89 μm)

A imagem NDVI resultante apresenta valores que variam de -1 a 1. Valores negativos e próximos de 0 correspondem a ausência de vegetação. À medida que os valores aumentam e se aproxima de 1, tem-se o incremento tanto da presença quanto do vigor da vegetação (Rouse *et al.*, 1974). Com base neste comportamento, foi realizada a análise da imagem NDVI com o intuito de definir o limiar mais adequado, na delimitação das áreas das florestas urbanas, no município de Poços de Caldas. A análise identificou que para as condições da área de estudo, na data estudada (12 de agosto de 2022), os valores acima de 0,35 representavam-se com os mais confiáveis a este tipo de vegetação, enquanto valores abaixo eram destinados às classes de não vegetação, tais como áreas urbanizadas, agricultura, solo exposto, entre outras.

2.3.3. Cobertura arbórea nos setores censitários e análise da resiliência

Nesta etapa da pesquisa, tem-se que a cobertura arbórea nos setores censitários é um indicador do nível de convivência direta dos moradores com a vegetação arbórea, representando o grau de acesso que cada setor censitário possui com relação aos serviços ecossistêmicos prestados pelas florestas urbanas. A identificação da cobertura arbórea em cada setor censitário foi realizada a partir da tabulação da interseção entre o mapa de floresta urbana e os limites vetoriais dos setores, tendo como resultado, a quantidade de área coberta por vegetação arbórea (em km^2) em cada setor censitário. Para estabelecer uma relação entre cobertura florestal e resiliência, foi calculada a porcentagem de floresta

urbana dentro de cada setor, classificando-os em quatro classes de resiliência, conforme o Quadro 1. Consideramos, então, que valores de cobertura florestal por setor censitário acima de 20% indicam maior resiliência da localidade quanto ao enfrentamento das mudanças climáticas em nível municipal. Por outro lado, valores abaixo dos 20% indicam menor resiliência dessa vizinhança.

Quadro 1: Categorização das classes de resiliência de acordo com o percentual de florestas urbanas.

% de floresta urbana no setor	Classe de Resiliência
< 10%	Baixa
10 a 20 %	Baixa a Moderada
20 a 30 %	Moderada a Alta
> 30 %	Alta

Fonte: Autores (2024).

2.3.4. Distância a espaços verdes e resiliência

No contexto deste estudo, Konijnendijk (2023) indica que os espaços verdes são áreas recobertas por florestas urbanas com mais de 1 hectare de tamanho e que são especialmente importantes na provisão de serviços ecossistêmicos associados a impactos positivos na saúde física e mental e no incentivo de atividades de recreação, atividades ao ar livre e interação social. Nesse sentido, a proximidade e o acesso a espaços verdes são essenciais no bem-estar de uma população. Assim, a Organização Mundial da Saúde (WHO, 2017) recomenda que a distância máxima para um espaço verde seja de 300 metros para garantir todos os benefícios que podem fornecer.

Buscando atender tais considerações, os espaços verdes no município de Poços de Caldas foram redefinidos, filtrando/eliminando, todas as áreas de floresta urbana menores do que 1 hectare de área contígua. A distância até os espaços verdes foi determinada a partir da Distância Euclidiana entre um ponto qualquer no espaço urbano da cidade até o espaço verde mais próximo, formando uma rede de pixels de distância. Por fim, adotou-se o critério de que, quanto menor a distância com o fragmento florestal, maior é resiliência do ambiente local, conforme os intervalos dos valores apresentados no Quadro 2, adaptados de Konijnendijk (2023).

Quadro 2: Categorização das classes de resiliência de acordo com a distância a um espaço verde.

Distância para um espaço verde (em m)	Classe de Resiliência
0 a 300 m	Alta
300 a 500 m	Moderada - Alta
500 a 750 m	Moderada - Baixa
> 750m	Baixa

Fonte: Autores (2024).

2.3.4. Mapeamento de vizinhanças resilientes quanto à arborização urbana

Para esta pesquisa, no mapeamento das vizinhanças resilientes, procurou-se identificar quais setores censitários/regiões do município apresentam maior resiliência socioambiental no que diz respeito à capacidade local de cumprir os objetivos de desenvolvimento sustentável propostos pela ONU, em especial os ODS 11 e 15. Assim, os setores identificados com menor resiliência tornam-se de especial interesse para projetos de arborização urbana, e este estudo consegue contribuir para o processo de planejamento territorial e proposição de políticas públicas de bem-estar socioambiental. Desta forma, e de modo prático, este mapeamento consistiu na sobreposição (álgebra de mapas) e análise geoespaciais da camada de porcentagem de cobertura arbórea, nos setores censitários urbanos, com a camada da matriz euclidiana, da distância à espaços verdes, ambas reclassificadas de acordo com os parâmetros de resiliência apresentados anteriormente.

Para tal, nas classes de resiliência de porcentagem de floresta urbana nos setores censitários, foram atribuídos valores de 1 a 4; e nas classes de distância à espaços verdes, foram atribuídos valores de 10 a 40 visando controlar e analisar os resultados provenientes da sobreposição (Figura 3).

		% de Floresta por setor censitário				=	Cor do Resultado	
		1	2	3	4		Resiliência	
Distância a Espaços Verdes	10	11	12	13	14		Red	Baixa
	20	21	22	23	24		Yellow	Moderada - Baixa
	30	31	32	33	34		Light Green	Moderada - Alta
	40	41	42	43	44		Dark Green	Alta

Figura 3 - Matriz da álgebra de mapas e legenda correspondente.

Fonte: Autores (2024).

Assim, as classes de resiliência do mapa final correspondem às características/critérios apresentados na Figura 4:

Classes de Resiliência	Valores Resultantes	Características
Baixa	11, 12, 21, 22	Baixa cobertura arbórea no setor (em média menos de 20%) com relevantes distâncias à espaços verdes. Representam zonas onde a população residente tem menos acesso aos serviços ecossistêmicos prestados pela arborização.
Moderada – Baixa	13, 14, 31, 32, 41	Locais onde a relação entre % de cobertura arbórea no setor censitário e a distância para áreas verdes revela certo grau de iniquidade e dificuldade de acesso aos serviços ecossistêmicos.
Moderada – Alta	24, 33, 42	Locais onde a relação entre % de cobertura arbórea no setor censitário e a distância para áreas verdes demonstra um grau positivo na provisão de serviços ecossistêmicos à sua população residente, mas com oportunidade / necessidade de melhorias.
Alta	34, 43, 44	Mais de 30% de arborização no setor censitário e distância a um espaço verde menor que 300 metros. Tendência de maior aproveitamento dos serviços ecossistêmicos locais.

Figura 4 – Valores resultantes, Classes de Resiliência e Características das classes do mapa final.
Fonte: Autores (2024).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O mapeamento realizado identificou 20% de floresta na área urbana de Poços de Caldas (Figura 5). A maior parte está localizada na porção oeste do município. Este total é pouco expressivo para que o município cumpra com os ODS 13 (Ação contra a mudança global do clima) e 15 (Proteger a vida silvestre), de acordo com o Instituto de Cidades Sustentáveis (2020). Outra questão observada é que a arborização municipal é incipiente na porção central e incrementada em quantidade e contiguidade à medida que se distancia do núcleo central, evidenciando que nem o processo histórico de planejamento e nem ações contemporâneas voltaram-se ao plantio de árvores nesta zona da cidade.

Em relação aos espaços verdes - áreas arborizadas contínuas com mais de 1 hectare de dimensão - o mapeamento ilustrado pela Figura 6 demonstra que 173 fragmentos florestais atendem este critério de tamanho mínimo, que somam juntos 926 hectares (9.26 km²).

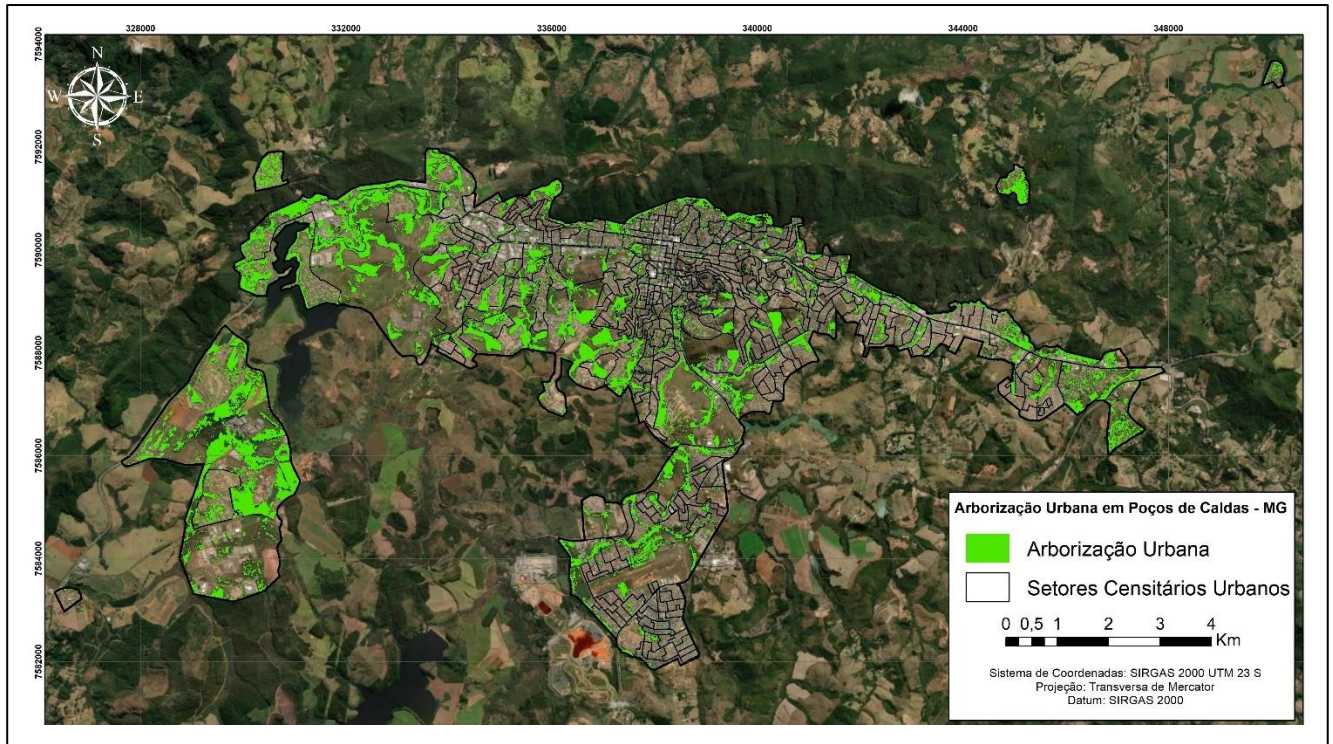


Figura 5 – Arborização dos setores urbanos no município de Poços de Caldas.
Fonte: Autores (2024).

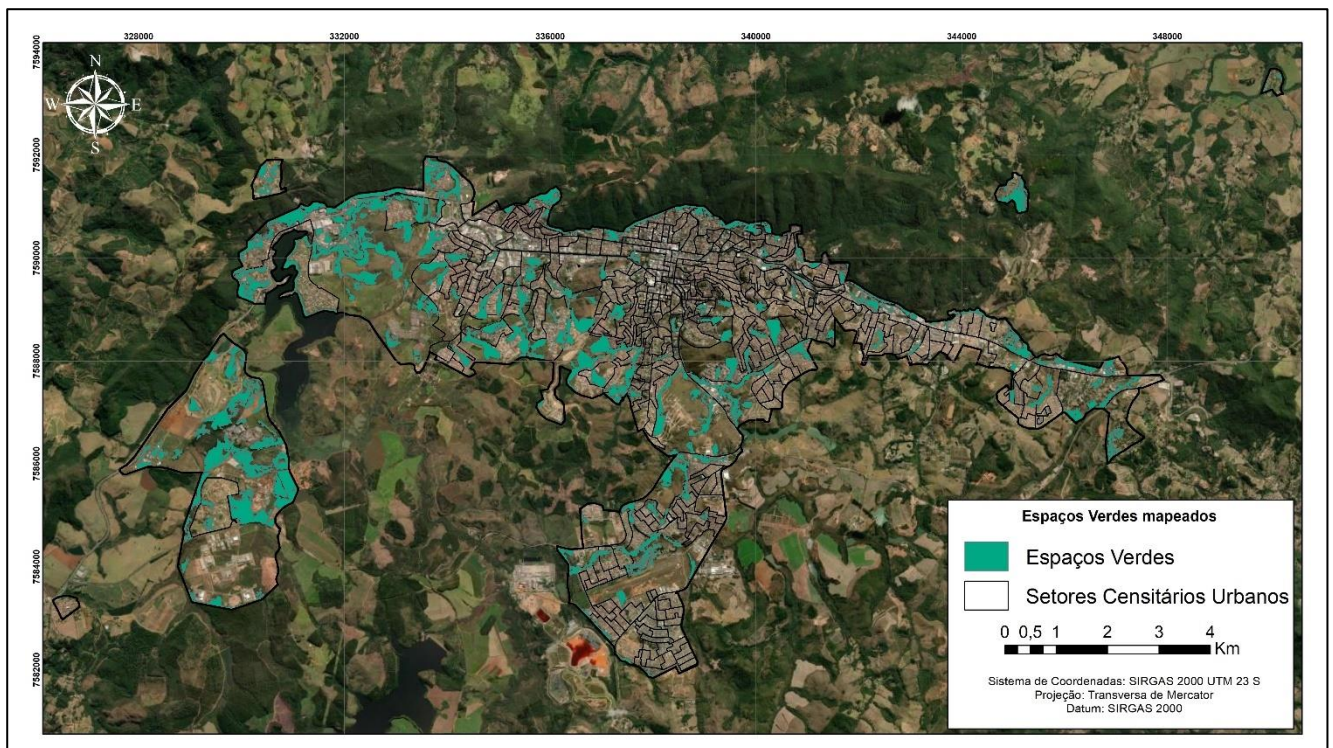


Figura 6 – Fragmentos florestais contínuos com mais de 1 hectare.
Fonte: Autores (2024).

Essas áreas são formadas por parques urbanos, tais como o Parque Municipal Antônio Molinari, o Parque José Afonso Junqueira e o Parque Ecológico da Zona Sul (Figura 7), praças arborizadas, como a Praça Pedro Sanches e, de fragmentos de matas

remanescentes, principalmente localizados em áreas com menores taxas de urbanização e/ou em áreas com elevada declividade (que inviabilizam o uso antrópico) e na zona de amortecimento do Parque Municipal da Serra de São Domingos, na porção norte.

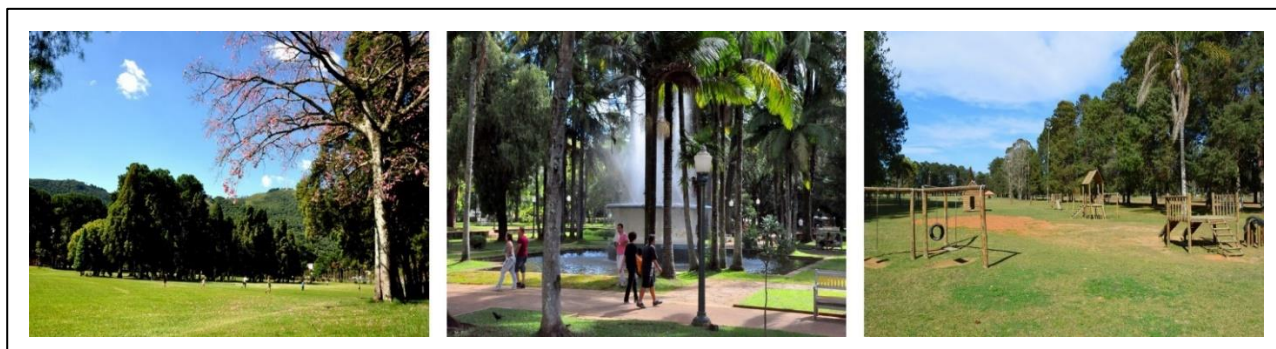


Figura 7 – Parques Urbanos do município de Poços de Caldas - Parque Municipal Antônio Molinari (a), Parque José Affonso Junqueira (b) e Parque Ecológico da Zona Sul (c). Fonte: PMPC (2023).
Fonte: PMPC (2023).

Oliveira (2014) expõe que o histórico e a criação da maioria dos espaços verdes de Poços de Caldas (parques e praças) foram voltados a atender uma exigente da elite que visitava o município à época em busca de conforto, beleza paisagística e ambiente sadio em um contexto de rígidos padrões urbanísticos, revelando o referido autor, a importância que o turismo teve na produção desses espaços urbanos municipais.

Ao usarmos os espaços verdes como indicador de bem-estar e de maior resiliência das populações próximas, frente às mudanças climáticas, como propõem Callaghan *et al.* (2021); Semeraro *et al.* (2021); Gelan e Girma (2021) é possível afirmar que o núcleo central do município e seu entorno imediato são os setores mais carentes dos serviços ecossistêmicos prestados pelas florestas urbanas, onde a urbanização têm sido tão acentuada que foram negligenciadas áreas disponíveis à espaços verdes de qualidade.

Por outro lado, a porção Centro-Leste (principalmente nos bairros Vila Cruz, Parque das Antas, Véu das Noivas e Vale das Antas), Oeste (bairros Bortolan e Vila Brasil) e Sul (bairros Jardim do Contorno, Santa Tereza, Chácara das Rosas e adjacências) beneficiam-se com as maiores quantidades de espaços verdes. Os cidadãos que moram próximos a estes espaços verdes, conforme afirma Konijnendijk (2023), têm muito mais acesso a melhores condições de saúde (derivadas da melhor qualidade do ar e maior umidade), além dos benefícios cênicos e psicológicos da visualização da vegetação arbórea, e maior resiliência frente às mudanças climáticas. Neste contexto, a identificação da distância aos espaços verdes (Figura 8), representa a mensuração do acesso dos moradores a esse

benefício, elencando que, quanto mais distante de espaços verdes, menor será o acesso/desfrute aos serviços ecossistêmicos que estes ambientes podem fornecer.

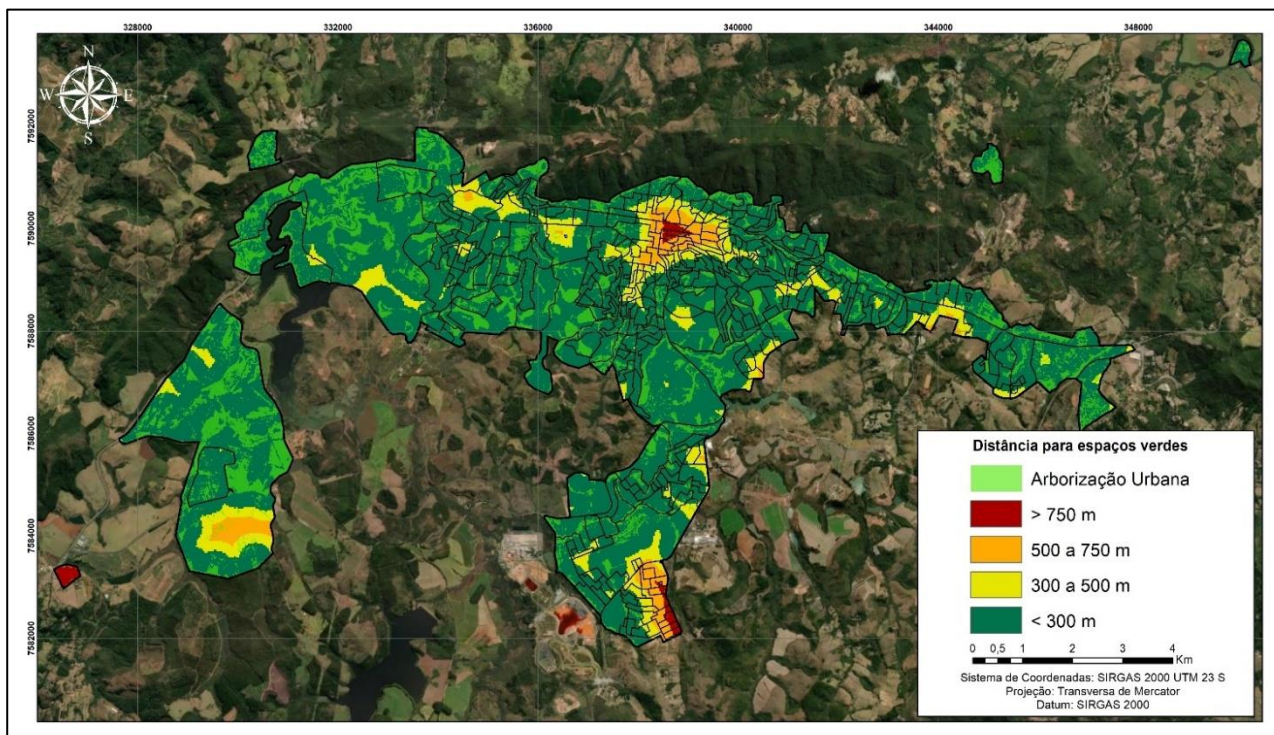


Figura 8 – Mapa de distância aos espaços verdes.
Fonte: Autores (2024).

Da Figura 8 o que se percebe, é que em geral, a população poços-caldense tem acesso próximo ou rápido aos espaços verdes, tendo em vista que 86 % do território está a menos de 300 m de distância. Entretanto, há alguns “hotspots” de falta de acesso que chamam a atenção, tais como: o núcleo central do município e seu entorno imediato; o bairro Vila Brasil de Nossa Senhora Aparecida, nas imediações da Avenida Geraldo Martins Costa (porção oeste da área de estudo); o extremo sul do município, no bairro Parque das Nações (Região Homogênea XII) e; o extremo oeste no bairro Marco Divisório. Sugere-se que nesses locais sejam implementadas políticas públicas de criação de infraestruturas urbanas de espaços verdes visando o bem-estar dos moradores e não somente o incremento turístico. As experiências recentes vivenciadas em Nova Iorque (NYC, 2021) e nas apresentadas no relatório da UNECE (2022) indicam avanços socioambientais significativos na implementação desse tipo de solução baseada na natureza, reforçando o argumento aqui apresentado.

O mapeamento de porcentagem dos setores censitários compostos por arborização urbana (Figura 9) visou identificar, ao nível de vizinhança imediata, a presença de arborização urbana, que é um indicador eficiente de quão resiliente é o setor.

Diferentemente da proximidade a espaços verdes, quando analisamos a nível de setor censitário, é possível notar que o município de maneira geral apresenta consideráveis déficits de acesso à arborização. Deste resultado é evidente que os núcleos de maior urbanização, compostos pela região central e adjacências e pelo extremo sul, são as zonas de menor porcentagem de cobertura vegetal em seus setores censitários, salientando que, quanto maior o grau de urbanização, menor a porcentagem de arborização no setor.

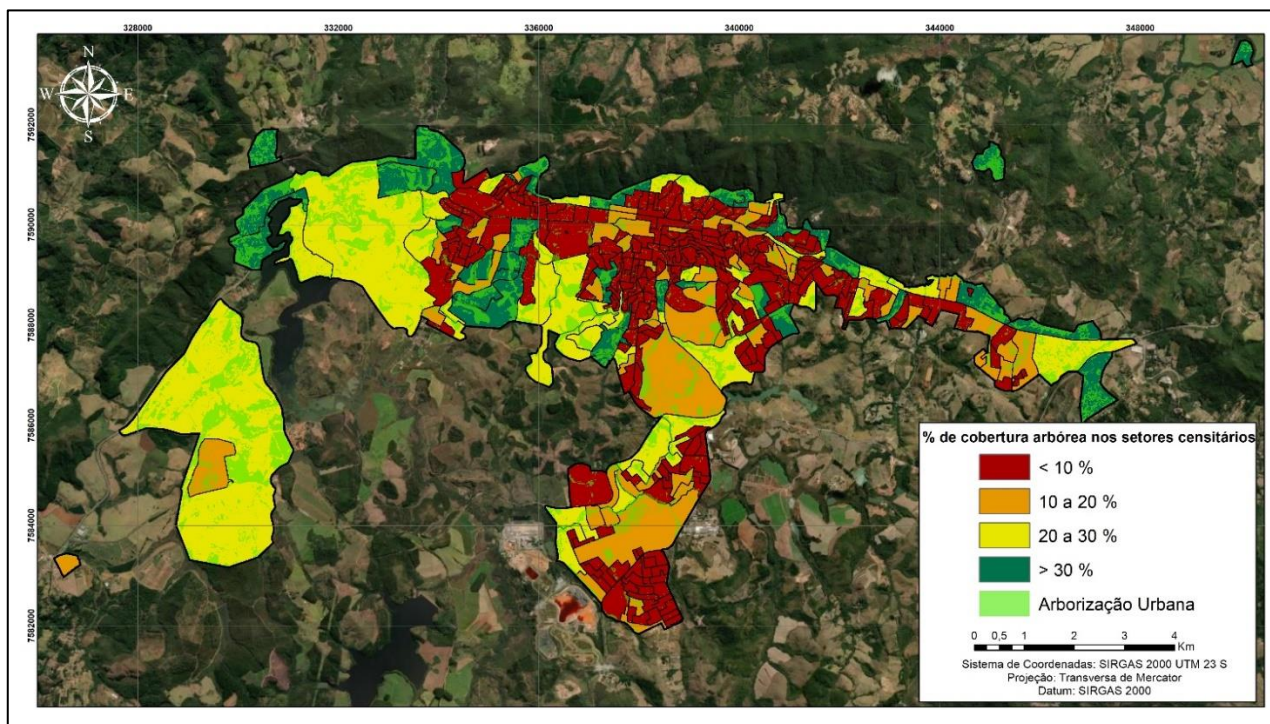


Figura 9 – Porcentagem de cobertura arbórea nos setores censitários urbanos.
Fonte: Autores (2024).

A observação dessa iniquidade de acesso pode estar relacionada aos argumentos propostos por Oliveira (2014), Marras (2002) e Megale (2002), que discutem que a infraestrutura verde do município foi voltada, historicamente, a rígidos padrões urbanísticos em prol de satisfazer um público turístico específico. Indo além, podemos levantar o questionamento, se os padrões atuais de planejamento urbano da cidade levam em consideração o incremento de florestas urbanas como instrumento de mitigação climática. A própria Lei Municipal 61/2021 (Poços de Caldas, 2021) que institui no âmbito do Município de Poços de Caldas o Plano Diretor de Arborização Urbana não traz menção às mudanças climáticas e resiliência às intempéries correlatas e nem mesmo mencionando o termo aquecimento global.

O mapa de resiliência das vizinhanças no município de Poços de Caldas (Figura 10) demonstra quais setores censitários e regiões apresentam maior e menor resiliência às

mudanças climáticas no contexto da arborização urbana e de todos os serviços ecossistêmicos promovidos por essas áreas verdes. Este produto cartográfico, podendo ser considerado como instrumento de planejamento territorial à medida que indica espacialmente as localidades com maior ou menor necessidade de interferência do poder público, visando atingir os objetivos de desenvolvimento sustentável. No que tange ao ODS 11 – Cidades e Comunidades Sustentáveis, a avaliação do ICS (2023) (<https://idsc.cidadessustentaveis.org.br/profiles/3151800/>) indica que Poços de Caldas atingiu o índice classificado como “Alto”, bem como todos seus municípios limítrofes, o que demonstra padrão regional de desenvolvimento. Entretanto, cabe ressaltarmos que nenhum dos indicadores utilizados pelo ICS para avaliar o ODS 11 inclui a arborização urbana, o que renega seus serviços ecossistêmicos em âmbito municipal.

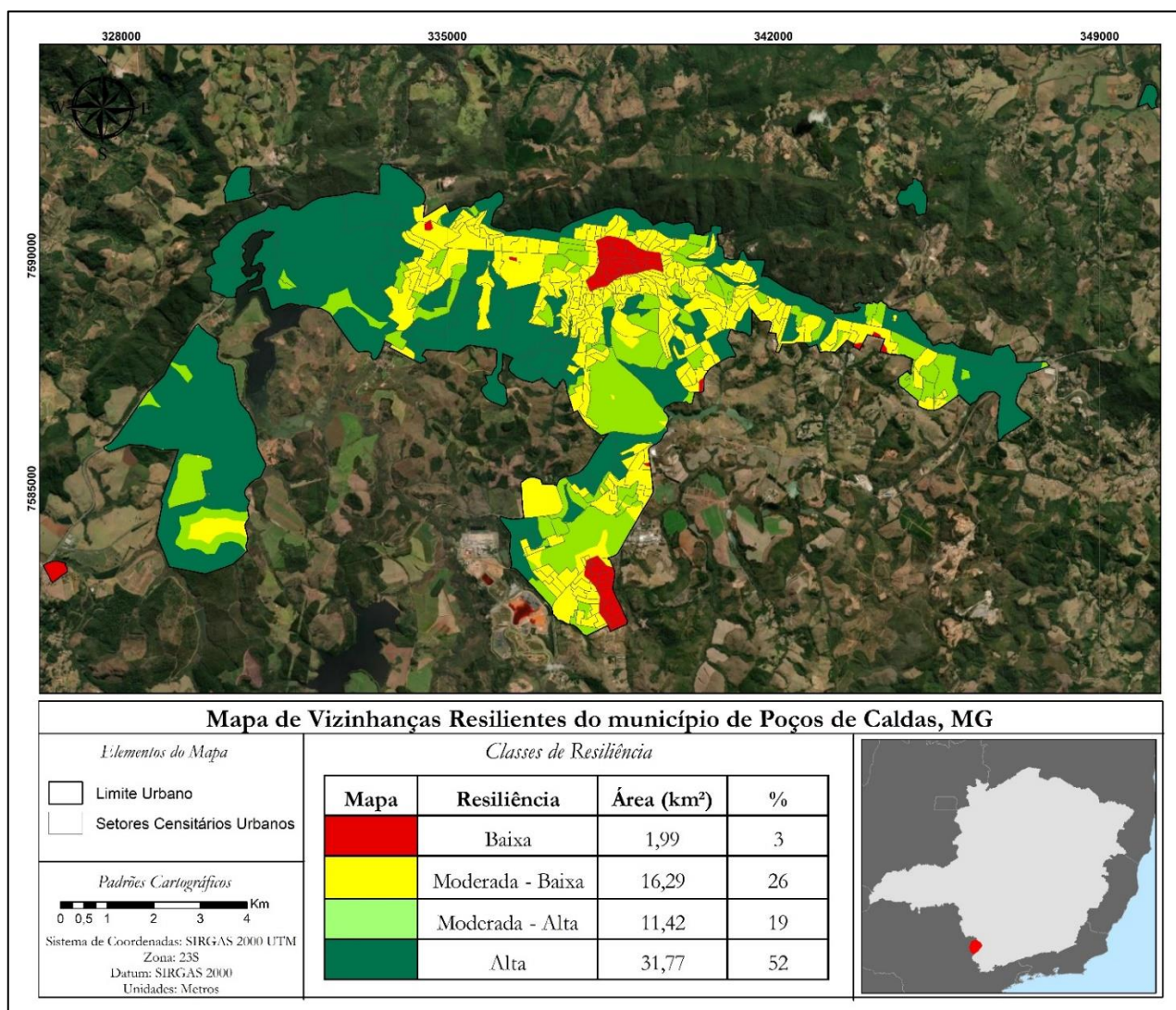


Figura 10 – Mapa de vizinhanças resilientes no município de Poços de Caldas, MG.

Fonte: Autores (2024).

O referido mapeamento revelou que 71% do perímetro urbano de Poços de Caldas pode ser considerado como vizinhança resiliente, nas classes Moderada - Alta e Alta, o que denota que existem áreas com acesso facilitado a espaços verdes e que os setores censitários que as compõem contêm relevante percentual de espécies arbóreas. De acordo com Konijnendijk (2023), essas são as áreas ideais para que o município se torne cada vez mais sustentável e próximo de alcançar as metas propostas nos ODS. Ainda assim, cabe mencionar o efeito de periferização dessas áreas com maior resiliência, já que se concentram nas áreas de menor urbanização e, conseqüente, menor densidade demográfica (principalmente as áreas de resiliência Alta). Este fenômeno corresponde a um grande desafio no processo do planejamento urbano sustentável, já que representa uma iniquidade de acesso aos serviços ecossistêmicos e menor qualidade de vida, em zonas que tendem a abrigar a maior parcela da população do município (UNECE, 2022; Williams *et al.* 2020).

As áreas de Moderada-Baixa resiliência representam uma faixa de transição rumo ao acesso incipiente de seus moradores aos serviços ecossistêmicos da arborização urbana. Estas áreas estão próximas a espaços verdes. Entretanto, os moradores não são beneficiados com a presença de árvores dentro de seus setores censitários. Nelas, o foco do poder público deve ser destinado a estudos e implementação de projetos de arborização na escala mais local possível (setores censitários e ruas, por exemplo), aprimorando os efeitos positivos do sombreamento e melhora da qualidade do ar promovidos por espécies arbóreas. Neste sentido, recomenda-se que os projetos de arborização ocorram a partir das orientações propostas pela FAO (2016), principalmente visando reforçar a provisão dos serviços ecossistêmicos. As áreas de Baixa resiliência são aquelas onde há maiores desafios a serem vencidos para que possam ser consideradas vizinhanças resilientes. Compõe 3% da área de estudo e estão distribuídas em locais específicos do município, ou seja, no núcleo central onde predominam a maior urbanização e densidade demográfica, no extremo sul (especificamente no bairro Parque das Nações), em algumas regiões específicas dos bairros Campo da Mogiana e Jardim Elizabeth (a oeste o núcleo central), Campos Elíseos (leste do núcleo central) e Jardim Azaléias (sudeste do município), além do bairro Marco Divisório, localizado à extremo oeste, na divisa com o estado de São Paulo.

Nesses locais, de áreas urbanas e periurbanas, são necessárias intervenções imediatas de arborização conforme instruções da FAO (2016), visando a criação de espaços verdes de qualidade, projetados em soluções baseadas na natureza, e

direcionados à resiliência da população e da paisagem frente aos iminentes impactos das mudanças climáticas em médio e longo prazo UNECE (2022).

Assim sendo, e no contexto brasileiro como um todo, faz-se necessário cobrar os gestores públicos para que as considerações levantadas neste e em outros estudos de mesma temática façam parte do planejamento urbano e de documentos normativos como Planos Diretores e Planos Diretores de Arborização Urbana. Desta forma, torna-se imperativo reforçar que as áreas urbanas são vulneráveis às mudanças climáticas, estando seus residentes em risco iminentes derivados de diversos impactos como aumento de temperatura, aumento da poluição, secas enchentes, deslizamentos e clima extremo. Por sua vez, as ações de adaptação às mudanças climáticas precisam levar em consideração a arborização urbana e seus serviços ecossistêmicos locais, como uma de suas medidas mitigadoras principais (NRS, 2021).

4. CONCLUSÃO

Compreender a arborização urbana como serviço baseado na natureza voltado ao enfrentamento das mudanças climáticas e ao desenvolvimento de cidades mais resilientes é crucial para o cumprimento dos ODS propostos na Agenda 2030. Tendo em vista que já estamos quase na metade do tempo para o cumprimento das metas estipuladas, o processo deve ser tratado como prioridade pelos tomadores de decisão, com a apreciação de documentos técnico-científicos nos processos de planejamento territorial.

No que tange ao emprego de tecnologia neste processo, as geotecnologias surgem como fonte útil para transformar dados em informações e otimizar o processo de tomada de decisão. Porém, é necessário frisar que existem limitações a serem consideradas, como o limite de detalhamento proporcionado pela resolução espacial. No caso deste estudo, a resolução espacial das imagens CBERS 4A, ainda que ótimas do aspecto de nível de detalhe, pode ocultar, no produto gerado após o cálculo do NDVI, zonas de arborização com tamanho inferior a 8 metros, mas que também são importantes na prestação de serviços ecossistêmicos essenciais ao bem-estar das comunidades locais. Tal fato não pode ser alterado no processo de fusão entre as bandas multiespectrais do canal visível e a pancromática do sensor WPM, que possui 2 metros de resolução espacial. Para mitigar tal limitação, recomenda-se que estudos futuros contemplem utilizem imagens de sensoriamento com maiores resoluções espaciais visando identificar com maior precisão a floresta urbana local.

Mesmo com a resolução espacial de 8m, é possível inferir que o modelo apresentado nesse estudo cumpre seu objetivo de identificar graus de resiliência nas vizinhanças de Poços de Caldas frente aos impactos das mudanças climáticas, constituindo um importante documento de suporte à tomada de decisão pelos gestores públicos.

Espera-se que os procedimentos metodológicos aqui adotados contribuam para melhorar o processo de planejamento territorial sustentável no município de Poços de Caldas e que sirvam como incentivo para estudos futuros em outros municípios brasileiros, alavancando o conceito das vizinhanças resilientes rumo a modelos de desenvolvimento mais sustentáveis no contexto brasileiro como um todo. Finalmente, faz-se necessário que a sociedade civil se organize visando cobrar os gestores públicos para que as considerações levantadas neste e em outros estudos relacionados à sustentabilidade urbana sejam prioridade nas agendas políticas.

REFERÊNCIAS

BANCO MUNDIAL. **Relatório sobre clima e desenvolvimento para o país**. 2023. 76p. Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org>. Acesso em: 20 jan. 2024.

BUCHALA, I. C. F. A arborização urbana em tempos de mudanças climáticas: desafios e reflexões. In: III Seminário Pós-Graduação e Inovação. 2018. Belo Horizonte: **Anais...** Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2018.

ONU BRASIL. **Objetivos de desenvolvimento sustentável**. 2023. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 24 jan. 2024.

CALLAGHAN, A. *et al.* The impact of green spaces on mental health in urban settings: a scoping review. **Journal of mental health**, v. 30, n. 2, p. 179-193, 2021.

ESPÍNDOLA, I. B; RIBEIRO, W. C. Cidades e mudanças climáticas: desafios para os planos diretores municipais brasileiros. **Cad. Metrop.**, São Paulo, v. 22, n. 48, p. 365-395, 2020.

PROJETO MAPBIOMAS. **Coleção 8 da série anual de mapas de uso e cobertura da terra do Brasil**. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/downloads/>. Acesso em: 02 fev. 2024.

GELAN, E.; GIRMA, Y. Urban green infrastructure accessibility for the achievement of SDG 11 in rapidly urbanizing cities of Ethiopia. **GeoJournal**, p. 1-20, 2021.

HARTIG, T. *et al.* Nature and health. **Annu Rev Public Health**, v. 35, p. 207-228, 2014.

HUFF, E. S., *et al.* A Literature Review of Resilience in Urban Forestry. **Arboriculture & Urban Forestry**, v. 46, n. 3, 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Panorama do Censo**. 2023. Disponível em: <https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/>. Acesso em: 20 mar. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Malha de Setores Censitários**. 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/26565-malhas-de-setores-censitarios-divisoes-intramunicipais.html?=&t=sobre>. Acesso em: 20 jan. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Download de setores censitários**. 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/26565-malhas-de-setores-censitarios-divisoes-intramunicipais.html?=&t=downloads>. Acesso em: 20 jan. 2024.

IPCC. **Climate Change 2023: Synthesis Report, Summary for Policymakers**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, 2023.

IPCC. Climate change 2007: Appendix to synthesisreport. In: BAEDE, A.P. M.; VAN DER LINDEN P.; VERBRUGGEN, A. (Eds.). **Climate change 2007: Synthesis report**. Contribution of working groups I, II and III to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, Geneva, 2007.

KONIJNENDIJK, C. C. Evidence-based guidelines for greener, healthier, more resilient neighbourhoods: Introducing the 3–30–300 rule. **Journal of forestry research**, v. 34, n. 3, p. 821-830, 2023.

MARSELLE, M. R. *et al.* **Pathways linking biodiversity to human health: a conceptual framework**. *Environ Int.*, v. 150, p. 106420, 2021.

MARRAS, S. **A propósito de águas virtuosas: Formação e ocorrência de uma estação balneária no Brasil**. Belo Horizonte: UFMG, 2004. 479p.

MEGALE, N. B. **Memórias históricas de Poços de Caldas**. Poços de Caldas: Sulminas, 2002.

GOUVEA, A. D. V.; NAVARRO, F. C.; ROVERI, C. D. Terras Raras: considerações sobre o Planalto de Poços de Caldas, MG no novo cenário mundial. **HOLOS**, v. 4, p. 101-109, 2014.

POÇOS DE CALDAS. **Lei 61/2021** - Plano Diretor de Arborização Urbana, 2021. Disponível em <https://pocosdecaldas.siscam.com.br/arquivo?Id=64460>. Acesso em: 20 fev. 2024.

OLIVEIRA, E. M. Produção do espaço urbano em Poços de Caldas (MG). **Caminhos da Geografia**, v. 15, n. 50, p. 100-113, 2014.

ORGANIZAÇÃO METEOROLÓGICA MUNDIAL (OMM). **State of the Global Climate report**. 2023. Disponível em: <https://library.wmo.int/>. Acesso em: 20 mar. 2024.

PREFEITURA MUNICIPAL DE POÇOS DE CALDAS (PMPC). **Conheça a Cidade: Parques**. Disponível em: <https://pocosdecaldas.mg.gov.br/turismo/parques/>. Acesso em: 20 mar. 2024.

RODRIGUES, B. N.; JUNIOR, V. E. M.; CANTERAS, F. B. Green Infrastructure as a solution to mitigate the effects of climate change in a coastal area of social vulnerability in Fortaleza (Brazil). **Environmental Advances**, v. 13, p. 100398, 2023.

ROUSE, J. W. *et al.* **Monitoring the vernal advancement and retrogradation (greenwave effect) of natural vegetation**. NASA/GSFC Type III Final Report, Greenbelt, Maryland, 1974.

UNITED NATIONS WORLD URBANIZATION PROSPECTS (UNWU). **The 2018 Revision**; United Nations: New York, USA. 2018.

WILLIAMS, T. G. *et al.* Parks and safety: a comparative study of green space access and inequity in five US cities. **Landscape and urban planning**, v. 201, p. 103841, 2020.

ZHANG, B.; BRACK, CRIS L. Urban Forest responses to climate change: A case study in Canberra. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 57, p. 126910, 2021.

BRAUBACH, M, *et al.* **Effects of urban green space on environmental health, equity and resilience** IN: Nature-Based Solutions to Climate Change Adaptation in Urban Areas: Linkages between Science, Policy and Practice, 187-205, 2017.

SEMERARO, T. *et al.* Planning of urban green spaces: An ecological perspective on human benefits. **Land**, v. 10, n. 2, p. 105, 2021.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Urban green spaces: A brief for action**. World Health Organization, Regional Office for Europe. Bonn. Disponível em: <https://www.euro.who.int>. Acesso em: 14 jan. 2024.

UNECE. **Advancing sustainable urban and peri-urban forestry - a green approach to resilience, health, and green recovery**. Policy brief. United Nations Economic Commission for Europe. 2022. Disponível em: <https://unece.org/forests/policy-briefs-forestry-and-timber-section>. Acesso em: 14 jan. 2024.

THE CITY OF NEW YORK. **Cool Neighborhoods NYC: A Comprehensive Approach to Keep Communities Safe in Extreme Heat**. New York, 2021. 44p.

Recebido: 09/04/2024

Aceito: 28/10/2024