

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DAS FUNÇÕES AMBIENTAIS EM ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE URBANAS: UM ESTUDO NO RIO DO PEIXE, SOCORRO – SP¹

EVALUATION OF THE PERFORMANCE OF ENVIRONMENTAL FUNCTIONS IN URBAN PERMANENT PRESERVATION AREAS: A STUDY IN RIO DO PEIXE, SOCORRO – SP¹

Felipe Augusto BRAZ²; Adriana Maira Rocha GOULART³; Paulo Guilherme MOLIN⁴;
Felipe Rosafa GAVIOLI^{3,5}

RESUMO - As Áreas de Preservação Permanente (APPs) são protegidas pela legislação, e devem ser mantidas com vegetação nativa objetivando o desempenho de suas funções ambientais conforme a Lei 12.651/2012. Em regiões urbanizadas, as APPs podem apresentar ocupações antrópicas, prejudicando estas funções. A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) adota um protocolo técnico de análise do desempenho das funções ambientais das APPs no âmbito do licenciamento ambiental, baseado em indicadores sujeitos a discricionariedade, sendo que existe o desafio de tornar este protocolo mais objetivo. Neste contexto, analisamos as funções ambientais da APP do Rio do Peixe, em trecho urbano do município de Socorro, estado de São Paulo, com uso de ferramentas de geoprocessamento e a partir de cinco indicadores (classe de uso e cobertura da terra, área dos polígonos em cada classe de uso, índice de circularidade, declividade e susceptibilidade a escoamento/inundação) gerados a partir de bases de dados secundários, que foram avaliados conjuntamente em uma matriz com atribuição de notas normalizadas e espacialização em Sistema de Informações Geográficas (SIG). 46,16% da APP estudada está com a função ambiental prejudicada, sendo que estas áreas concentram-se nas porções periféricas da faixa protegida, situadas entre 20 e 50 metros do corpo hídrico. Nas faixas próximas do corpo hídrico (0 a 20 metros), as funções ambientais estão mais íntegras. Conclui-se que a metodologia desenvolvida possibilitou reconhecer graus variáveis de desempenho da função ambiental da APP nas faixas delimitadas em paralelo ao corpo hídrico, o que permite dar escala e objetividade às análises do órgão ambiental quanto a avaliação das funções ambientais das APPs no contexto do licenciamento ambiental, bem como subsidiar cientificamente o poder público municipal quanto a redefinição de APPs em áreas urbanas consolidadas nos termos da Lei 14.285/2021.

Palavras-chave: Legislação ambiental, Geoprocessamento, Paisagem, Serviços ambientais.

ABSTRACT - Permanent Preservation Areas (APPs) are protected by legislation and must be maintained with native vegetation in order to perform their environmental functions in accordance with Law 12.651/2012. In urbanized regions, APPs may present anthropogenic occupations, compromising these functions. The Environmental Company of the State of São Paulo (CETESB) adopts a technical protocol for analyzing the performance of the environmental functions of APPs within the scope of environmental licensing, based on indicators subject to discretion. However, there is a challenge to make this protocol more objective. In this context, we analyzed the environmental functions of the Rio do Peixe APP, in an urban section of the municipality of Socorro, state of São Paulo, using geoprocessing tools and based on five indicators (land use and cover class, area of polygons in each use class, circularity index, slope and susceptibility to landslides/flooding) generated from secondary databases, which were jointly evaluated in a matrix with the assignment of standardized scores and spatialization in a Geographic Information System (GIS). 46.16% of the APP studied has impaired environmental function, with these areas concentrated in the peripheral portions of the protected range, located between 20 and 50 meters from the water body. In areas closed to the water body (0 to 20 meters), environmental functions are more preserved. It is concluded that the methodology developed made it possible to recognize varying degrees of performance of the environmental function of the APP in the ranges delimited in parallel to the water body, which allows for scale and objectivity to the environmental agency's analyzes regarding the assessment of the environmental functions of the APPs in the context of the environmental licensing, as well as scientifically subsidizing the municipal public authorities regarding the redefinition of APPs in consolidated urban areas under the terms of Law 14,285/2021.

Keywords: Environmental legislation, Geoprocessing, Landscape, Environmental services.

¹ Recebido para análise em 01.04.2025. Aceito para publicação em 29.07.2025. Publicado em 18.08.2025.

² COAMI – Consultoria Ambiental e Mineração, Av. Cel. Germano, 208, 13960-000, Socorro, SP, Brasil.

³ CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, Av. Prof. Frederico Hermann Júnior, 345, 05459-900, São Paulo, SP, Brasil.

⁴ UFSCar/CCN - Universidade Federal de São Carlos, Centro de Ciências da Natureza, Rodovia Lauri Simões de Barros, km 12 - SP-189, 18290-000, Buri - SP, Brasil; USP/ESALQ/LCF, Av. Pádua Dias, 11, 13418-900, Piracicaba - SP, Brasil.

⁵ Autor para correspondência: Felipe Rosafa Gavioli - fgavioli@sp.gov.br

1 INTRODUÇÃO

As florestas ripárias apresentam enorme relevância em paisagens antropizadas, considerando os seus múltiplos benefícios e a prestação de serviços ecossistêmicos associados a estas formações (Mello et al. 2020). Estas florestas promovem a conectividade entre fragmentos, possibilitando o fluxo gênico de espécies de fauna e flora e são centrais para a preservação de espécies cuja reprodução depende do acesso à água (Arroyo-Rodriguez et al. 2020). A preservação e a restauração da vegetação florestal ao longo de rios e corpos d'água, bem como nas cabeceiras das bacias hidrográficas, favorece o controle da erosão, a retenção de sedimentos, a diminuição do escoamento superficial e consequentemente a infiltração de água no solo, implicando em incremento da disponibilidade hídrica em qualidade e em quantidade (Taniwaki et al. 2018; Mello et al. 2020). As áreas ripárias merecem, assim, uma especial atenção em programas e projetos de restauração ecológica ao nível da paisagem (Meli et al. 2019).

Estas áreas ripárias são consideradas especialmente protegidas no marco da Lei de Proteção da Vegetação Nativa (LPVN) 12.651/2012, que considerou a faixa marginal ao longo dos corpos hídricos como Áreas de Preservação Permanente (APPs). Conforme o artigo 3º da LPVN, define-se APP como a área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas (Brasil 2012). Assim, a legislação vigente não apenas define a APP conforme sua localização geográfica, mas também associa esta área especialmente protegida ao desempenho de uma série de funções ambientais. No caso das APPs associadas a corpos hídricos, a LPVN define uma faixa variável de proteção, estabelecida em acordo com a largura do curso d'água, sendo que quanto maior a largura do corpo hídrico, maior a faixa protegida (Brasil 2012).

No contexto urbano, as APPs hídricas se encontram muitas vezes degradadas e ocupadas por estruturas urbanas consolidadas, de difícil reversão, o que acaba por prejudicar as funções ambientais previstas na própria LPVN. Estimativas da iniciativa MapBiomias (2022) apontam que no Brasil havia 121 mil hectares de APPs hídricas ocupadas por infraestruturas urbanas em 2020, o que corresponde a cerca de 29% das APPs incidentes em regiões urbanizadas. Analisando a

situação de urbanização e degradação das APPs em alguns municípios paulistas, tem-se que no município de Indaiatuba, 20,56% das APPs hídricas estavam urbanizadas em 2015 (Araújo 2015), e em Jundiaí, 7,46% das APPs hídricas estavam degradadas em 2020 (Gavioli e Hossomi 2020). Em Mogi das Cruzes, Harano e Galvanin (2023) indicam que 12% das APPs estavam urbanizadas em 2019.

No contexto do licenciamento ambiental paulista, é possível intervir em APP nas hipóteses de obras de utilidade pública, interesse social ou baixo impacto ambiental, conforme disposto na LPVN (Brasil, 2012). Eventual regularização de um uso urbano consolidado em APP que não seja enquadrado nestas categorias pode ocorrer no âmbito da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), órgão estadual responsável pelo licenciamento ambiental, a partir de três eixos: (1) temporalidade de ocupação, quando se comprova que um determinado uso ou edificação hoje em APP foi implantado antes daquela área ser considerada especialmente protegida pela legislação (Gavioli e Hossomi 2020); (2) temporalidade de parcelamento, onde fica assegurado o direito de edificar em área hoje considerada como de APP, quando há a comprovação de que o lote urbano foi constituído fora de área protegida e em acordo com a legislação vigente à época do parcelamento nos termos do artigo 40 da Lei Estadual 15.684/2015 (São Paulo 2015); e (3) perda de função ambiental da APP, que considera que uma determinada APP pode estar antropizada e urbanizada a tal ponto que já não desempenha as funções ambientais indicadas no artigo 3º da LPVN, de modo que o desfazimento de uma ocupação ou a restauração de um trecho da APP não implicaria em reabilitação das funções ambientais em uma escala de paisagem.

A perda da função ambiental da APP foi objeto da Deliberação Normativa CONSEMA 03/2018, que estabeleceu um procedimento para a análise destes casos, considerando, conforme seu Art. 2º, que uma área de preservação permanente perdeu suas funções ambientais quando, simultaneamente: I - não mais exerça a função de preservação de recursos hídricos; II - sua ocupação não comprometa a estabilidade geológica; III - não desempenhe papel significativo na preservação da biodiversidade; IV - não seja relevante para facilitar o fluxo gênico de fauna e de flora; V - sua preservação não tenha relevância para a proteção do solo ou para assegurar o bem-estar das populações humanas (São Paulo, 2018). Para realizar tal avaliação, a Deliberação estabeleceu que deve ser elaborado um estudo da APP de curso d'água na extensão de 1.000 metros à montante e à jusante da

área objeto de regularização, devendo ser avaliados os indicadores analíticos do anexo I da Deliberação, os quais podem ser visualizados na Tabela 1.

Tabela 1. Indicadores do Anexo I da Deliberação Normativa CONSEMA 03/2018 para análise de perda de funções ambientais de APPs

Table 1. Indicators from Annex I of Normative Deliberation CONSEMA 03/2018 for analyzing the loss of environmental functions of APPs

Função Ambiental da APP (conforme o art. 3º inciso II da Lei Federal 12.651/2012)	Indicadores a serem analisados para avaliação da perda da função da APP Urbana
Preservação dos Recursos Hídricos	<ul style="list-style-type: none"> • Quanto ao corpo d'água: canalizado ou não canalizado, retificado ou não retificado; • Presença de concreto, solo e/ou vegetação; • Existência de via pavimentada e/ou outra área impermeabilizada entre o empreendimento e o recurso hídrico
Estabilidade Geológica e proteção do solo	<ul style="list-style-type: none"> • Inclinação do terreno e a possibilidade de solapamento, erosão e colapso das edificações existentes.
Biodiversidade e Fluxo Gênico de Flora e Fauna	<ul style="list-style-type: none"> • Conectividade e proximidade com outras áreas protegidas • Corredores ecológicos • Área contígua a unidades de conservação, parques urbanos e maciços florestais • Possibilidade de reestabelecimento da conectividade com fragmentos de vegetação e do fluxo gênico em caso de demolição de construções existentes
Assegurar o bem-estar da população humana	<ul style="list-style-type: none"> • O histórico de inundações • Susceptibilidade da área a inundações ou situação de risco • Condição para implantação de solução de saneamento adequada • Existência de áreas verdes / permeáveis próximas

Fonte: os autores, 2024, baseados em Deliberação CONSEMA 03/2018.

Observa-se que a Deliberação CONSEMA 03/2018 buscou traduzir as funções ambientais das APPs conforme previsto na LPVN em indicadores que, no entanto, carecem de objetividade. Indicadores são métricas objetivas e mensuráveis que podem ser construídas a partir de descritores. Estes últimos buscam contextualizar as características significativas de determinado elemento que será objeto da mensuração objetiva dada pelo indicador (Ferraz 2003). Nestes termos, os “indicadores” trazidos pela Deliberação CONSEMA 03/2018 carecem de parâmetros de avaliação e de uma metodologia clara de aplicação, abrindo margem para a subjetividade nas avaliações das funções ambientais por parte dos técnicos do órgão de licenciamento ambiental. Atualmente, a Deliberação CONSEMA 03/2018 se encontra com aplicação suspensa em face de decisão judicial que considerou ilegal a inclusão da regularização de edificações em APPs com perda de função ambiental enquanto atividade de baixo impacto ambiental. Sem embargo, o roteiro analítico trazido pela Deliberação, com o estudo realizado em trecho de 1.000 metros à montante e à jusante da área objeto da regularização e a aplicação dos indicadores, tem sido aplicado no âmbito dos processos administrativos da CETESB, com a análise do desempenho das funções ambientais das APPs.

Neste contexto, e de modo a tornar o procedimento de avaliação do desempenho de funções ambientais de APPs hídricas mais objetivo e menos sujeito a discricionariedade, o presente artigo efetuou um diagnóstico da APP do Rio do Peixe na zona urbana do município de Socorro, avaliando o desempenho das funções ambientais desta APP com o uso de indicadores obtidos em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG) e analisados em uma matriz. Partimos da hipótese de que é viável expressar o prejuízo às funções ambientais das APPs elencadas na Lei 12.651/2012 a partir de indicadores mensuráveis remotamente através de uso de geotecnologias, o que pode dar objetividade e escala à análise de perda de funções ambientais em regiões densamente urbanizadas do estado de São Paulo.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado na APP do Rio do Peixe, na área urbana consolidada do município de Socorro/SP, que fica localizado na região do circuito das águas paulistas, cerca de 130 km de distância da capital São Paulo. O município possui uma área de aproximadamente 449 km² e população de 40.323 habitantes (IBGE 2022), estando inserido

no bioma da Mata Atlântica, com predomínio de florestas ombrófilas densas. A vegetação nativa ocupa 8.540 hectares ou 19,1% do território do município (Instituto Florestal 2020). O trecho estudado da APP do Rio de Peixe foi de 4 km, tomando como ponto inicial a coordenada (344.020; 7.500.380) e ponto final (342.652; 7.502.657) no sistema de projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) para o Fuso 23S.

Considerando que o Rio do Peixe apresenta largura entre 10 e 50 metros, a APP considerada foi de 50 metros nos termos do artigo 4º inciso I alínea b da LPVN (Brasil, 2012). Esta APP foi segmentada para fins do estudo em cinco faixas delimitadas a partir das margens, denominadas: A (0 a 10 m), B (10 a 20 m), C (20 a 30 m), D (30 a 40 m) e E (40 a 50 m). A Figura 1 apresenta a localização da APP objeto do estudo.

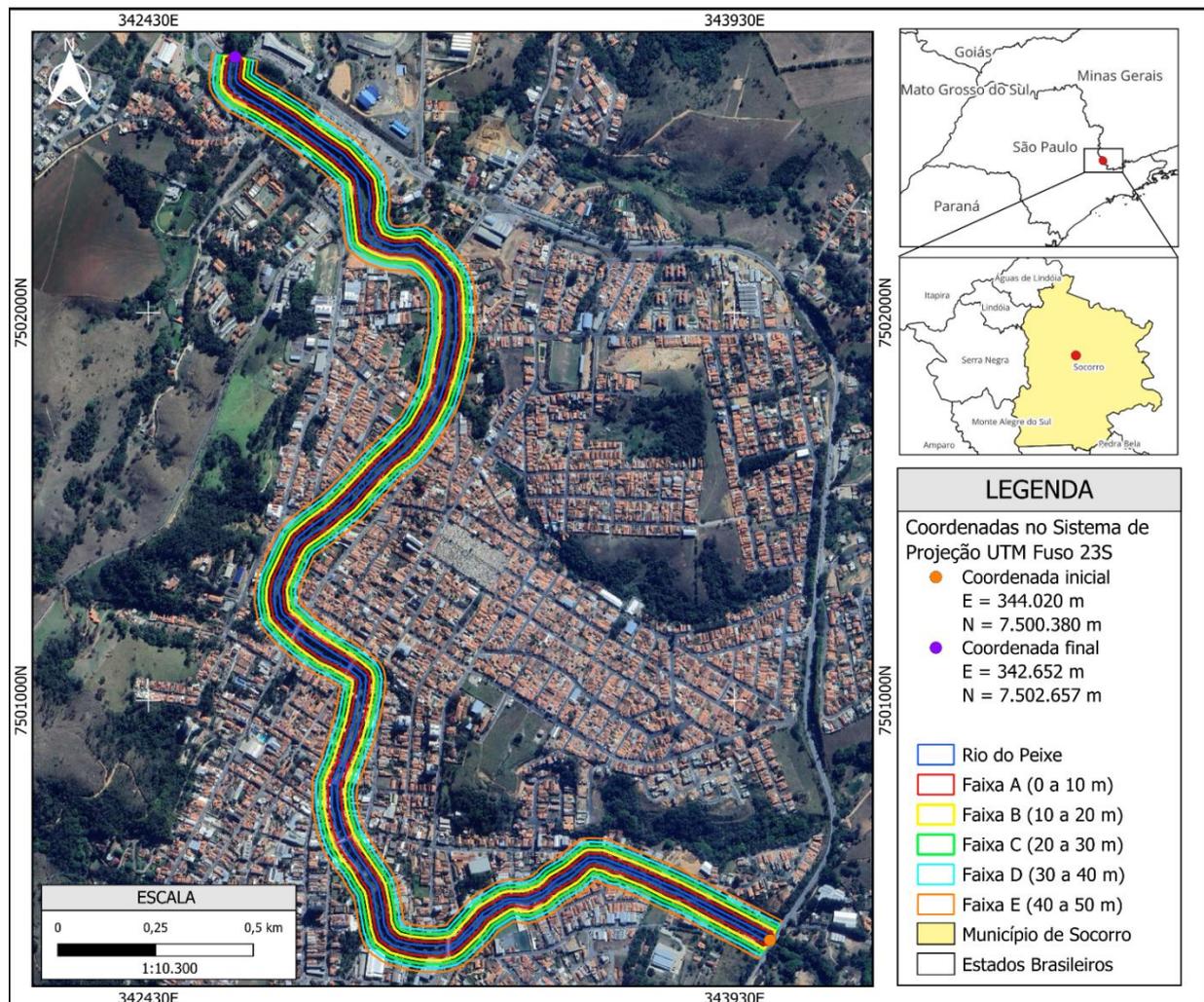


Figura 1. Mapa de localização da APP do Rio do Peixe, município de Socorro, no trecho estudado.

Figure 1. Location map of the APP of Rio do Peixe, municipality of Socorro, in the studied section.

Fonte: os autores.

Após a definição da área de estudo, foram usadas as bases de dados geográficos indicadas na Tabela

2, processadas em ambiente SIG com o uso do software livre QGIS versão 3.16 Hannover.

Tabela 2. Base de dados geográficos utilizados no estudo.

Table 2. Geographic database used in the study.

Nome	Descrição	Escala / Resolução	Formato	Fonte
Uso e cobertura da terra	Imagem dos satélites Ikonos/GeoEye	1m a 4m	Raster, conexão WMS	Google Earth (2023)
Declividade	Modelo Digital de Elevação (MDE)	30m	Raster	INPE (2008)
Inundação/Escurregamento	Áreas de susceptibilidade	1:25.000	Vetor, conexão WMS	IPT (2023)

Fonte: os autores.

As imagens de satélite foram obtidas da base do Google Earth a partir do plugin QuickMapServices no software QGIS, e foram vetorizadas manualmente, com a criação de polígonos representando os seguintes tipos de uso e cobertura da terra: áreas com vegetação arbórea (fragmentos de vegetação nativa, agrupamentos arbóreos e vegetação exótica); áreas construídas (construções, ruas, calçadas); solo exposto (terra) e gramíneas (vegetação pioneira, grama, capim). Aqui, cabe salientar que as áreas de vegetação arbórea correspondem a locais onde, visualmente, foi possível observar cobertura de copas em dossel contínuo, não sendo possível definir a tipologia desta vegetação, se fragmento de floresta nativa ou agrupado de espécies exóticas arbóreas, ou ainda um misto destas tipologias. As áreas de gramíneas correspondem aos locais onde, visualmente, foi possível identificar cobertura vegetal não arbórea, com características de permeabilidade e condições de, ao menos em tese, receberem algum tipo de arborização.

Quanto ao uso da base do Google Earth, em que pese o fato das imagens não possuírem correções geométricas, o que pode implicar em imprecisão de cálculos, optou-se pelo uso desta base pelo fato de as imagens apresentarem resolução espacial adequada para o presente estudo e acesso amplo e gratuito, o que pode viabilizar, no futuro, a replicação da metodologia para outras localidades. Após a vetorização, calculamos o perímetro em metros e área em metros quadrados de cada polígono gerado, para cada classe de uso e cobertura da terra, para cada faixa de APP, separados por margem esquerda e margem direita. A partir da informação de perímetro e área, foi possível calcular o índice de circularidade (IC), que é um parâmetro bastante usual em pesquisas de avaliação de fragmentos florestais (Etto et al. 2013), sendo que o

IC se correlaciona à função ambiental de preservação da biodiversidade. Este relaciona a área e o perímetro do fragmento a fim de identificar o grau de proximidade do formato do fragmento com o de uma circunferência, através da aplicação da Equação 1 indicada a seguir:

Equação 1. Índice de circularidade das manchas florestais

Equation 1. Circularity index of forest patches

$$IC = \frac{(2 \cdot \sqrt{\mu \cdot A})}{L}$$

A circunferência é estabelecida como formato padrão teórico, que indica que fragmentos arredondados estão menos sujeitos a efeitos de borda e, portanto, apresentam maior riqueza e diversidade de espécies (Santana et al., 2021). Deste modo, valores de IC mais próximos de 1 (um) indicam maior circularidade do fragmento, e valores mais próximos de 0 (zero) representam fragmentos de formato mais alongado, nos quais a relação centro/borda é maior, gerando conseqüentemente maior efeito de borda e maior vulnerabilidade ecológica. Partindo deste princípio, os resultados de IC podem ser categorizados em: valor abaixo de 0,65 representando fragmentos muito alongados e de pior qualidade ambiental; valores entre 0,65 e 0,85 fragmentos medianamente alongados; e valores superiores a 0,85 fragmentos arredondados (Silva et al. 2021). No presente estudo, o IC foi calculado para as manchas de agrupamentos arbóreos, bem como para as áreas de gramíneas que, em tese, são passíveis de arborização ou restauração ecológica no contexto da APP urbanizada. Deste modo, os indicadores de classificação da APP de estudo conforme as classes de uso e cobertura da terra definidas, cálculo das áreas para os polígonos vetorizados em cada classes de uso e cobertura, e

cálculo do IC para as manchas de vegetação arbórea e gramíneas foram utilizados para avaliar o desempenho das funções ambientais associadas à preservação da paisagem, biodiversidade, fluxo gênico de flora e fauna, e preservação dos recursos hídricos.

Para as funções ambientais de estabilidade geológica, proteção do solo e bem-estar das populações humanas, utilizamos indicadores associados aos aspectos geológicos, topográficos e de risco quanto à ocupação da área de estudo, tais como declividade e susceptibilidade a inundações e escorregamentos. A análise da declividade foi baseada no uso do raster do projeto TOPODATA, Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), o qual oferece o Modelo Digital de Elevação (MDE) e suas derivações locais básicas em cobertura nacional, elaborados em resolução de 30 metros (INPE 2008). Para cada polígono de uso e cobertura da terra, o declive foi calculado através da média dos pixels, com uso das ferramentas estatísticas zonais do QGIS. Ficou definido que para avaliação do declive foi estabelecida a linha de corte de 17°, pois esse valor representa 30% de declividade, sendo esse o limite recomendado para parcelamento do solo conforme o art. 3º da Lei Nº 6.766, de 19 de

dezembro de 1979 (Brasil 1979). Salienta-se que foi adotado o parâmetro declive médio considerando que os pixels do MDE utilizado muitas vezes se apresentam maior que as áreas dos polígonos vetorizados, ao que a média corresponde em grande medida ao valor único do pixel. Complementarmente à análise da declividade, avaliamos os trechos da APP de estudo suscetíveis a eventos de inundação ou escorregamento, consultando o Web Map Service (WMS) do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT 2023) para áreas sujeitas a inundação ou escorregamento do município de Socorro. Isto possibilitou avaliar, por exemplo, quais áreas construídas em APP estão sujeitas a risco de inundação ou escorregamento.

Visando realizar uma análise geral da situação da APP do Rio Peixe em sua área urbana consolidada, os indicadores gerados, quais sejam: (i) uso e cobertura da terra; (ii) área de cada polígono para cada classe de uso e cobertura da terra; (iii) índice de circularidade para as áreas de vegetação arbórea e gramíneas; (iv) declividade média; (v) e susceptibilidade a inundação ou escorregamento, foram normalizados em uma matriz única, a partir do estabelecimento de notas para cada valor de indicador, conforme representado na Tabela 3.

Tabela 3. Critério de notas atribuídas para cada indicador

Table 3. Criteria for grades assigned to each indicator

Classe	Nota classe	IC		Declive			Inundação/escorregamento		Área (m ²)				
		≤ 0,65	0,65 - 0,85	≥ 0,85	< 17°	> 17°	Sim	Não	0 à 100	100 à 500	500 à 1000	1000 à 5000	≥ 5.000
Vegetação arbórea	3	1	2	3	2	3	2	3	1	2	3	4	5
Gramíneas	2	1	2	3	2	3	2	3	1	2	3	4	5
Área construída	1	0	0	0	1	0	0	1	5	4	3	2	1
Solo exposto	1	0	0	0	1	0	0	1	5	4	3	2	1

Fonte: os autores.

Quanto maior a nota, significa que o indicador ambiental representa maior função na APP. Por outro lado, quanto menor a nota do indicador, menor a função ambiental que este representa. A matriz foi construída com notas de 0 a 5 para cada indicador, e o modelo prevê que cada polígono vetorizado para cada uma das classes de uso e cobertura da terra apresente uma nota per se, a qual são somadas as notas obtidas dos demais indicadores, quais sejam: índice de circularidade; declive; susceptibilidade a inundação/escorregamento e área do polígono.

Assim, a nota mínima possível para determinado polígono (i.e, trecho de APP) é 2 (trecho de APP com prejuízo no desempenho das funções ambientais) e a nota máxima possível é 17 (trecho de APP com bom desempenho de funções ambientais). A nota zero foi atribuída em determinadas situações nas quais a variável não faz sentido na classe, como por exemplo o índice de circularidade para as áreas construídas e de solo exposto.

Para as classes de uso e ocupação da terra, as áreas de vegetação arbórea receberam nota 3, já que desempenham melhor as funções de permeabilidade, conservação da biodiversidade e proteção dos recursos hídricos. As áreas de gramíneas receberam nota 2, pois embora não desempenhem função de conservação da biodiversidade tal como as áreas arborizadas, apresentam vinculação com a função de permeabilidade do solo e são, em tese, áreas passíveis de arborização ou mesmo restauração ecológica. As áreas construídas e/ou com solo exposto receberam nota 1, por representarem trechos antropizados da APP onde as funções ambientais estão prejudicadas.

A partir da nota base de cada classe de uso e cobertura da terra, atribuiu-se na sequência uma nota vinculada à área calculada do polígono para aquele uso e cobertura da terra específico. Assim, polígonos com construções e/ou com solo exposto com área de 0 a 100 m² receberam nota 5, de 100 a 500 m² nota 4, de 500 a 1.000 m² nota 3, de 1.000 a 5.000 m² nota 2 e acima de 5.000 m² nota 1, sendo que estes parâmetros foram construídos considerando que áreas edificadas maiores em APP contribuem mais para o prejuízo da função ambiental em uma escala de paisagem, e áreas edificadas menores podem, ao menos em tese, ser mais facilmente removidas. Para os polígonos de gramíneas e vegetação arbórea, foram atribuídas as seguintes notas associadas ao tamanho do polígono: de 0 a 100 m² receberam nota 1, de 100 a 500 m² nota 2, de 500 a 1.000 m² nota 3, de 1.000 a 5.000 m² nota 4 e acima de 5.000 m² nota 5. Aqui, o parâmetro indica que áreas arborizadas ou com gramíneas maiores apresentam melhor desempenho de função ambiental do que áreas pequenas e isoladas, correlacionados ao parâmetro de fluxo gênico de fauna e flora.

Com relação ao índice de circularidade, calculamos o IC somente para os polígonos com vegetação arbórea ou gramíneas, sendo que polígonos com construções ou solo exposto receberam nota zero neste indicador. Valores de IC menores ou iguais a 0,65 receberam nota 1, de 0,65 a 0,85 nota 2 e maiores ou iguais a 0,85 nota 3, consoante ao indicado por Silva et al. (2021). Os indicadores de área e IC, associados às classes de uso e cobertura da terra, buscam deste modo representar de forma objetiva o desempenho ou não das funções das APPs associadas à conservação da biodiversidade, fluxo gênico de flora/fauna e preservação das paisagens e recursos hídricos.

Para a declividade média, os parâmetros definidos foram: para as áreas construídas e/ou com solo exposto em até 17° de inclinação receberam

nota 1 e as áreas com mais de 17° de inclinação receberam nota zero, sendo que tal parâmetro busca indicar que áreas edificadas ou de solo exposto em locais de elevado declive (superior a 17° ou 30%) estão mais suscetíveis a eventos de escorregamento, ao passo que edificações em áreas de declive menos acentuado estão em condição de menor risco geotécnico, em que pese o fato de estarem em local especial protegido pelo instrumento da APP. As áreas de gramíneas ou com vegetação arbórea em até 17° de inclinação receberam nota 2 e as áreas com mais de 17° de inclinação receberam nota 3. Aqui, consideramos que para o parâmetro declividade tanto as áreas já arborizadas como aquelas com condições de arborização (i.e. gramíneas), se situadas em locais de declive mais acentuado representam melhor desempenho de funções ambientais em APP, já que as áreas de maior declive são menos vocacionadas para ocupação, devendo estar preferencialmente arborizadas, e no caso das áreas com gramíneas estas se apresentam prioritárias para arborização. As áreas arborizadas ou com gramíneas, portanto em condição de receberem arborização em declive menos acentuado também são importantes para a funcionalidade ambiental da APP, muito embora apresentem um menor risco geológico vinculado à declividade, ao que receberam uma nota inferior. Entende-se que a identificação da declividade média, associada ao uso e cobertura da terra, possibilita inferências quanto ao adequado desempenho das funções de estabilidade geológica e proteção do solo da APP. Salienta-se que foi adotado o parâmetro declive médio considerando que os pixels do MDE utilizado muitas vezes se apresentam maiores que as áreas dos polígonos vetorizados, ao que a média corresponde em grande medida ao valor único do pixel.

Com relação à suscetibilidade a inundação/escorregamento, o indicador é relacionado à presença ou ausência deste fator de risco, sendo que as áreas inundáveis com ocupações antrópicas existentes ou em potencial (edificações/solo exposto) receberam nota zero, e as ocupações antrópicas em área não inundável receberam nota 1. Já os usos mais afins à manutenção de funções ambientais (vegetação arbórea/gramíneas) em área inundável receberam nota 2, e em área não inundável receberam nota 3. Este indicador, associado à tipologia de uso e cobertura da terra, está relacionado com a função ambiental de assegurar o bem-estar das populações que estão próximas à área especialmente protegida, e objetivou pontuar mais os usos ambientais em áreas não suscetíveis à inundação/escorregamento e

pontuar menos os usos antrópicos em áreas de risco para este parâmetro.

Após a aplicação das notas associadas a cada indicador, considerando os parâmetros adotados, foi possível obter nota mínima de 2 e máxima de 17, porém, realizando o somatório dos valores, foram obtidas notas que variam de 3 a 14, ou seja, nenhum trecho da APP de estudo alcançou a nota máxima possível para expressar o desempenho da função ambiental da APP. Assim, foram criadas 3 faixas de resultados: notas 3 a 6 representam funções ambientais prejudicadas; notas 7 a 10 representam funções ambientais medianamente prejudicadas; notas 11 a 14 representam funções ambientais não

prejudicadas. Após as análises e atribuição de notas, a tabela de atributos associada aos polígonos gerados foi exportada para o software Excel, para fins de análises estatísticas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A paisagem estudada, composta pelo trecho de APP em ambas as margens do corpo hídrico, ocupa área total de 399.240 m², com uso predominante de áreas construídas, que ocupam 189.192 m² da paisagem, ou 47,39%. Verificou-se a presença da vegetação arbórea em 164.322 m², ou 41,16% da APP estudada.

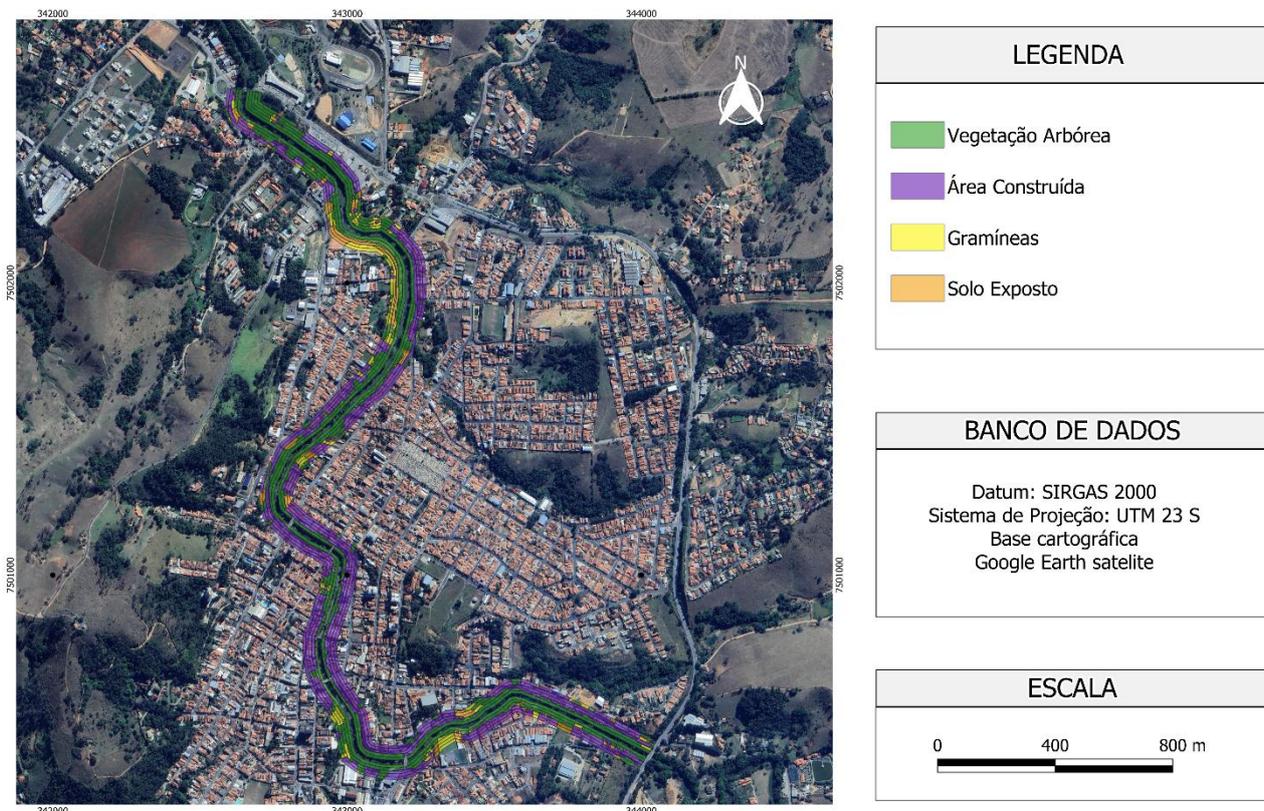


Figura 2. Mapa de uso e cobertura da terra da paisagem de estudo

Figure 2. Land use and land cover map of the study landscape

Fonte: os autores.

A Figura 2 apresenta o mapa de uso e cobertura da terra gerado no estudo. A Tabela 4 apresenta os resultados de uso e cobertura da terra, segmentados pelas faixas estudadas.

Observa-se que a vegetação arbórea se encontra desigualmente distribuída na paisagem, com maior incidência nas faixas A e B da APP, mais próximas do curso d'água. As áreas ocupadas por gramíneas somam 24.375 m² em ambas as margens (6,11% da

APP). Ao contrário da vegetação arbórea, as áreas com gramíneas ocorrem de forma mais relevante nas faixas periféricas D e E. A arborização hipotética destas áreas ocupadas por gramíneas elevaria a metragem de cobertura arbórea da APP para 188.697 m², ou 47,26% da APP. Assim, mesmo na hipótese de restauração destas áreas ainda não edificadas, a APP continuaria com menos de 50% de cobertura arbórea.

Tabela 4. Uso e cobertura da terra na paisagem, em m² e percentual, conforme as faixas de estudo.

Table 4. Land use and land cover in the landscape, in square meters and percentage, according to the study bands.

Classe	Faixas										Total	
	A		B		C		D		E		m ²	%
	m ²	%										
Vegetação arbórea	77.166	19,33	45.992	11,52	17.611	4,41	11.672	2,92	11.881	2,98	164.322	41,16
Área construída	1.891	0,47	27.688	6,94	48.825	12,23	55.197	13,83	55.591	13,92	189.192	47,39
Solo exposto	-	-	2.453	0,61	8.689	2,18	6.220	1,56	3.989	1,00	21.351	5,35
Gramíneas	-	-	3.783	0,95	5.052	1,27	7.109	1,78	8.431	2,11	24.375	6,11

Fonte: os autores.

As áreas construídas em APP, que são o uso predominante da paisagem, se concentram nas faixas C, D e E, indicando que a partir de 20 metros da borda da calha do leito regular do corpo hídrico já se iniciam áreas edificadas. As áreas de solo exposto, que recobrem 21.351 m² ou 5,35% da paisagem, se concentram na faixa intermediária C

da APP, com presença também relevante nas faixas D e E.

A partir do processamento dos dados, foi possível também caracterizar as manchas de vegetação arbórea existentes quanto às classes de tamanho (representado em área), conforme apresentado na Tabela 5:

Tabela 5. Manchas de vegetação arbórea, gramíneas, área construída e solo exposto incidentes na paisagem segundo classe de tamanho.

Table 5. Patches of tree vegetation, grasses, built-up areas and bared soil in the landscape according to size class.

Classe	Área (m ²)	Nº de manchas		Área das manchas	
		Nº	%	m ²	%
Vegetação arbórea	0 a 100m ²	26	13,40	1.745	1,06
	100m ² a 500m ²	108	55,67	26.599	16,19
	500m ² a 1.000m ²	28	14,43	18.926	11,52
	1.000m ² a 5.000m ²	27	13,92	53.792	32,74
	Acima de 5.000m ²	5	2,58	63.260	38,50
	Total	194	100,00	164.322	100,00
Gramíneas	Área (m ²)				
	0 a 100m ²	19	21,59	974	4,00
	100m ² a 500m ²	56	63,64	13.197	54,14
	500m ² a 1.000m ²	10	11,36	5.879	24,12
	1.000m ² a 5.000m ²	3	3,41	4.325	17,74
	Acima de 5.000m ²	-	-	-	-
Total	88	100,00	24.375	100,00	
Área construída	Área (m ²)				
	0 a 100m ²	74	34,26	3.825	2,02
	100m ² a 500m ²	64	29,63	17.456	9,23
	500m ² a 1.000m ²	28	12,96	20.002	10,57
	1.000m ² a 5.000m ²	45	20,83	104.561	55,27
	Acima de 5.000m ²	5	2,31	43.348	22,91
Total	216	100,00	189.192	100,00	
Solo exposto	Área (m ²)				
	0 a 100m ²	18	25,35	1.000	4,68
	100m ² a 500m ²	44	61,97	11.443	53,59
	500m ² a 1.000m ²	8	11,27	4.995	23,39
	1.000m ² a 5.000m ²	1	1,41	3.913	18,33
	Acima de 5.000m ²	-	-	-	-
Total	71	100,00	21.351	100,00	

Fonte: os autores.

Verifica-se que das 194 manchas de vegetação arbórea da paisagem estudada, cerca de 70% (134 manchas) apresentam área de até 500m², com predomínio das manchas entre 100m² e 500m². De outro lado, 71% da área de vegetação está concentrada em 32 manchas com mais de 1.000m², indicando que estes fragmentos maiores são prioritários para a conservação, de modo a manter as funções ambientais na APP do Rio do Peixe. A predominância de muitas manchas de pequena dimensão denota uma paisagem bastante marcada pela fragmentação, como aliás ocorre em paisagens urbanas do interior paulista de um modo geral (Gavioli et al. 2022, Ribeiro et al. 2020, Silva et al. 2019). No que se refere às áreas de gramíneas, verifica-se a predominância das manchas de 100m² a 500m² tanto em termos de número de manchas quanto de área, indicando que a maior parte das

áreas que em tese estariam disponíveis para arborização também se apresentam fragmentadas. Sem embargo, 13 manchas perfazem 42% das áreas com gramíneas, ao que estes 13 polígonos seriam prioritários para projetos de recuperação florestal. As áreas construídas, que são o uso da terra predominante na paisagem, se apresentam com o maior número de manchas, sendo que a distribuição destas também se dá em muitas pequenas manchas, que somam pouca área. A categoria solo exposto foi a que apresentou menor número de manchas na paisagem.

Esta fragmentação da paisagem também se expressou no IC das manchas de vegetação arbórea e gramíneas. O mapa das manchas de vegetação arbórea e de gramíneas classificadas conforme IC é apresentado na Figura 3 e os resultados para este indicador são apresentados na Tabela 6.

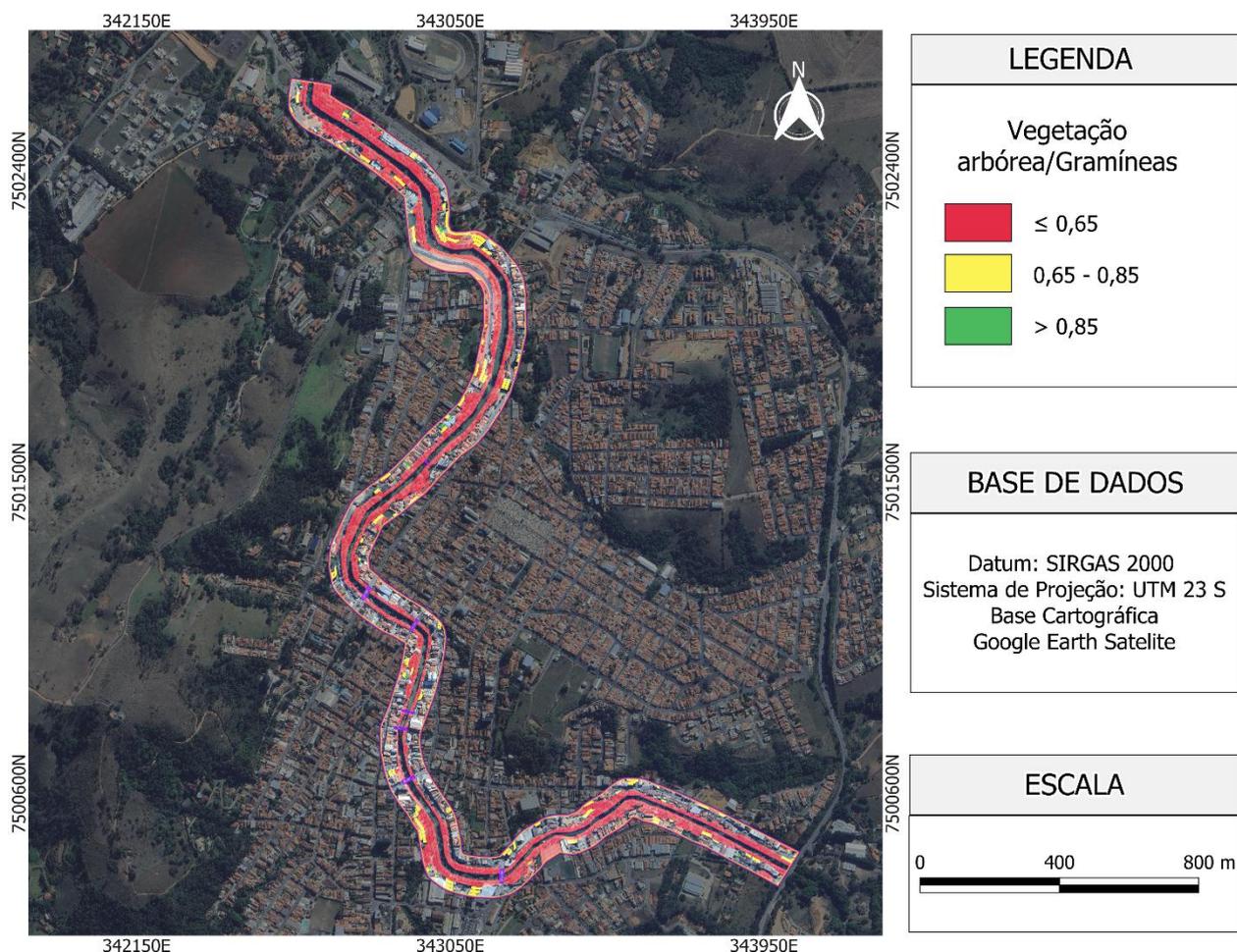


Figura 3. Mapa do índice de circularidade das manchas de vegetação arbórea e gramíneas.

Figure 3. Map of circularity index of patches of tree and grass vegetation.

Fonte: os autores.

Tabela 6. Índice de circularidade das manchas de vegetação arbórea e gramíneas

Table 6. Circularity index of patches of tree and grass vegetation

Classes	IC $\leq 0,65$			IC 0,65 – 0,85			IC $> 0,85$		
	Nº mancha	%	Área (m ²)	Nº mancha	%	Área (m ²)	Nº mancha	%	Área (m ²)
Vegetação arbórea	101	52,06	147.773	75	38,66	14.628	18	9,28	1.921
Gramíneas	41	46,59	16.274	41	46,59	7.440	6	6,82	661

Fonte: os autores.

Da Tabela 6 verifica-se que as manchas com um IC adequado, superior a 0,85, representam a minoria, tanto para a vegetação arbórea quanto para as gramíneas. A maior parte das manchas de vegetação arbórea apresentam IC inferior ou igual a 0,65, o que denota manchas alongadas com elevada relação perímetro/área, sendo mais susceptíveis a efeito de borda e, portanto, mais vulneráveis para a conservação da biodiversidade. Isto se explica na paisagem de estudo pelo fato de que as manchas acompanham as margens do corpo hídrico em especial das faixas A e B definidas, sendo pressionadas por outros usos a partir da faixa C. Em relação às gramíneas, observa-se o mesmo número de manchas nas classes de IC inferior ou igual a 0,65 e entre 0,65-0,85, porém com maior área na classe

de menor IC. Isto indica que a maior parte da área de gramíneas disponível para restauração conformaria fragmentos florestais sujeitos a efeito de borda, com impactos menos relevantes no incremento da conservação de biodiversidade da APP em análise.

Na sequência, apresentamos os resultados obtidos para os indicadores associados às funções de estabilidade geológica, proteção do solo e bem-estar das populações humanas, começando pela declividade média das áreas agrupadas nas classes de uso e cobertura da terra área construída/solo exposto, e vegetação arbórea/gramíneas. A Figura 4 apresenta um mapa da declividade da paisagem de estudo, e a Tabela 7 os resultados obtidos.

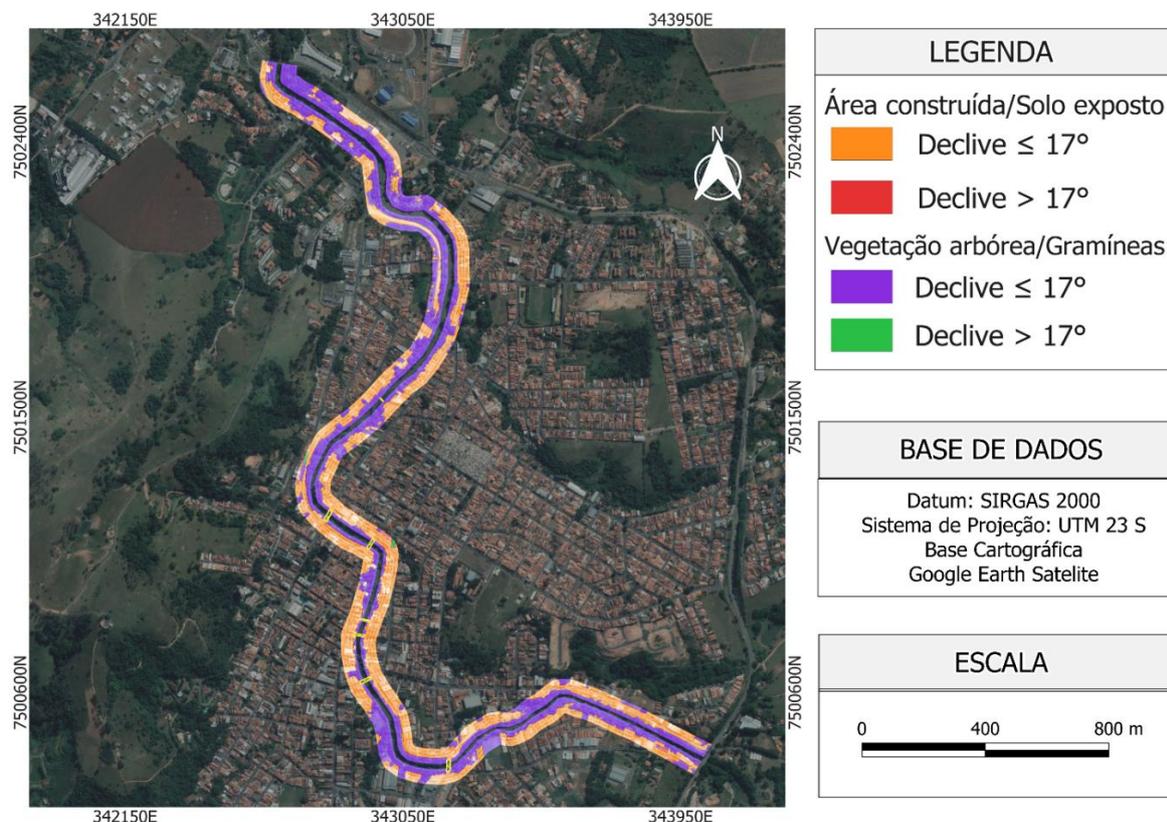


Figura 4. Mapa das classes declive na área de estudo.

Figure 4. Map of slope classes in the study area.

Fonte: os autores.

Tabela 7. Classes de declive na área de estudo.

Table 7. Slope classes in the study area

Classe	Declive abaixo 17°			Declive acima 17°		
	Nº manchas	% de manchas	Área (m ²)	Nº manchas	% de manchas	Área (m ²)
Área construída/solo exposto	278	48,86	208.618	9	1,58	1.924
Vegetação arbórea/gramíneas	279	49,03	188.129	3	0,53	565

Fonte: os autores.

Observa-se que poucas manchas de área construída/solo exposto e agrupamento arbóreo/gramíneas se apresentaram em área de elevado declive (acima de 17°), ao que se considera que a paisagem apresenta, de modo geral, relevo suave, o que pode inclusive ter condicionado ou favorecido a ocupação antrópica com edificações,

em especial nas porções mais distantes do corpo hídrico.

A Figura 5 apresenta o mapa das áreas suscetíveis a inundação ou eventos de escorregamento na área de estudo, e a Tabela 8 os resultados obtidos para a aplicação deste indicador.

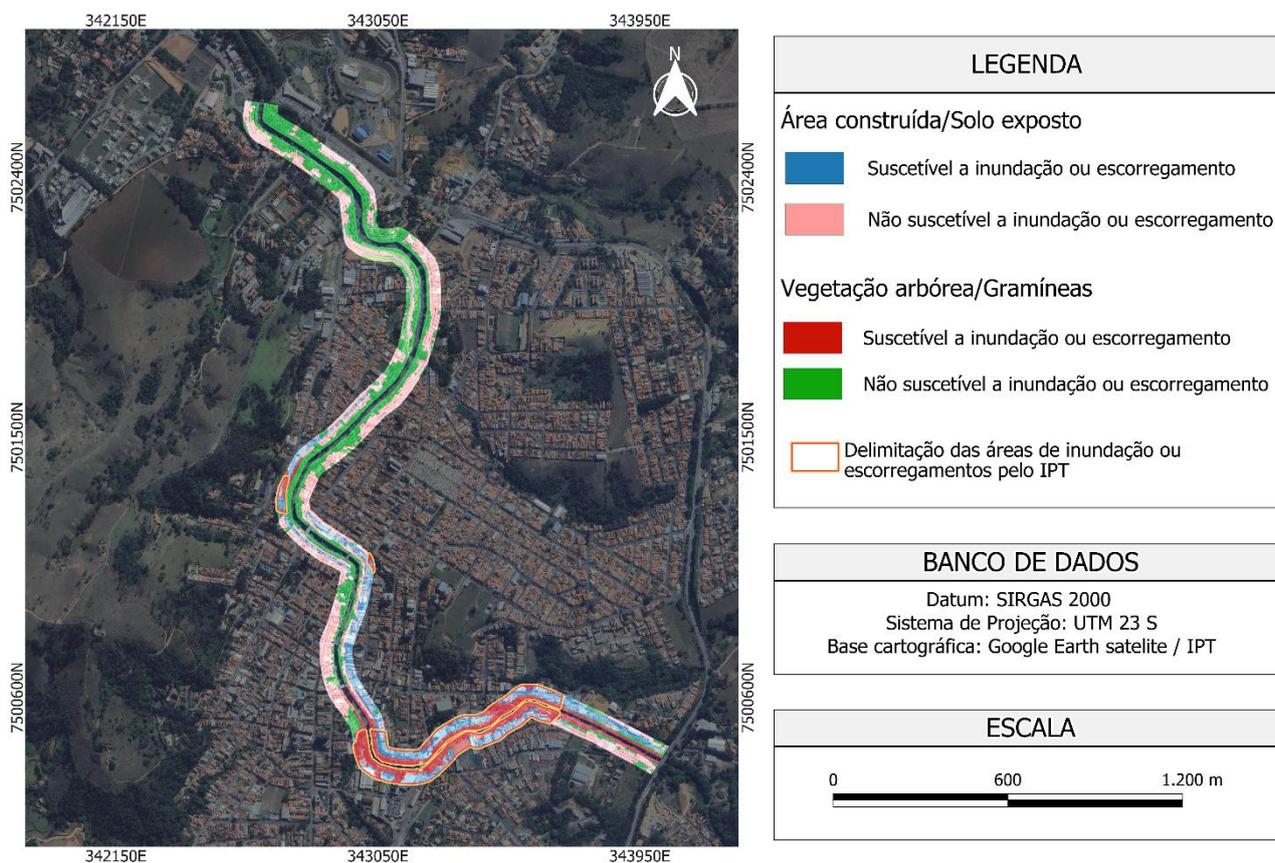


Figura 5. Mapa da suscetibilidade a inundação/escorregamentos na área de estudo.

Figure 5. Map of susceptibility to flooding/landslides in the study area

Tabela 8. Suscetibilidade a inundações/escorregamentos na área de estudo.

Table 8. Susceptibility to flooding/landslides in the study area.

Classe	Suscetível a inundações/escorregamento			Não suscetível a inundações/escorregamento		
	Nº manchas	% de manchas	Área (m ²)	Nº manchas	% de manchas	Área (m ²)
Área construída/solo exposto	77	13,53	85.787	210	36,91	124.755
Vegetação arbórea/gramíneas	67	11,78	57.341	215	37,79	131.354

Fonte: os autores.

As áreas sujeitas a inundações se localizam na porção sul da região de estudo, ao passo que as áreas sujeitas a processos de escorregamento se concentram na porção central da paisagem. Observa-se a presença de 85.787 m² de áreas construídas ou em solo exposto susceptíveis a inundações ou escorregamentos, representando áreas antropizadas em locais susceptíveis a riscos de inundações/escorregamentos em APP. Também se verifica 57.341 hectares de áreas de agrupamento

arbóreo/gramíneas em locais de alta suscetibilidade a inundações/escorregamento, sendo que tais áreas também devem ser consideradas prioritárias para a manutenção/restauração da vegetação arbórea, com vistas a mitigar eventos de cheias e/ou erosões.

Com base nos indicadores estudados e normalizados, efetuamos o somatório das notas, de modo a avaliar a condição de desempenho das funções ambientais no trecho da APP do Rio do Peixe estudado, conforme indicado na Tabela 9.

Tabela 9. Desempenho das funções ambientais da APP do Rio do Peixe por faixa estudada.

Table 9. Performance of environmental functions of the Rio do Peixe APP by studied area.

Faixas APP	Função não prejudicada		Função medianamente prejudicada		Função prejudicada	
	%	Área (m ²)	%	Área (m ²)	%	Área (m ²)
Faixa A (0-10m)	97,72	77.165,29	2,28	1.891,18	0	0
Faixa B (10-20m)	59,33	47.122,01	12,25	10.157,13	28,42	22.635,91
Faixa C (20-30m)	21,97	19.246,63	10,97	9.377,94	67,06	51.552,64
Faixa D (30-40m)	20,93	16.124,91	11,04	9.355,50	68,03	54.717,37
Faixa E (40-50m)	17,83	15.784,36	10,67	8.715,66	71,50	55.391,86
Total	43,95	175.443,20	9,89	39.497,41	46,16	184.298,05

Fonte: os autores, 2024.

A Figura 6 apresenta a distribuição das classes de desempenho das funções ambientais da APP na paisagem estudada. Considerando as cinco faixas e o trecho total de APP estudada, verifica-se que 9,89%, ou 39.497,41 m² da APP apresenta função

ambiental medianamente prejudicada, 46,16% ou 184.298,05 m² da APP apresenta função ambiental prejudicada e 43,95% ou 175.443,20 m² da APP apresenta função ambiental sem prejuízo.

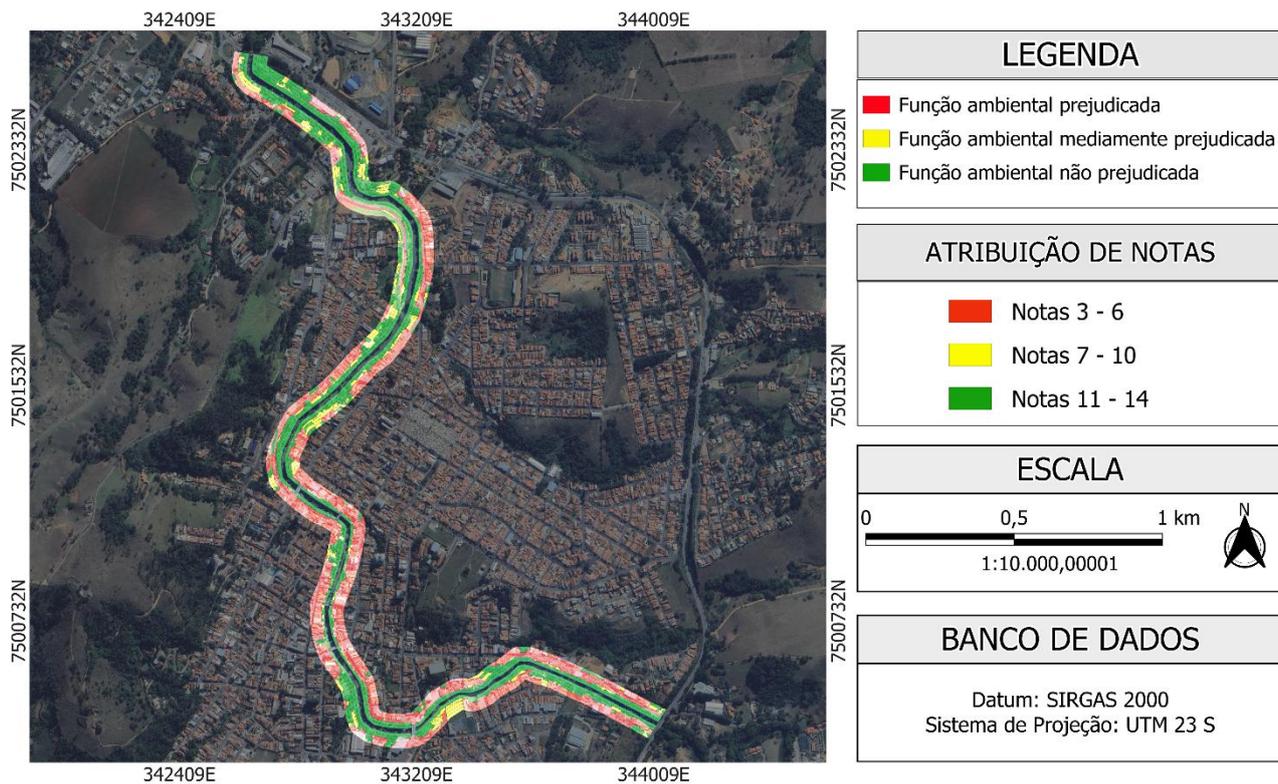


Figura 6. Classes de desempenho das funções ambientais da APP.

Figure 6. Performance classes of APP environmental functions.

Em geral, a APP do Rio do Peixe, no trecho estudado, se apresenta com a função ambiental mediamente preservada, e a metodologia desenvolvida no presente estudo revelou que o desempenho das funções ambientais na paisagem é desigualmente distribuído nas faixas definidas em paralelo ao corpo hídrico, com as faixas A (0 a 10 m) e B (10 a 20 m) apresentando indícios de que as funções ambientais da APP do Rio do Peixe em sua área urbana consolidada estão menos prejudicadas, por abrigar os fragmentos de vegetação nativa que promovem o fluxo gênico de fauna e flora, bem como a estabilidade geológica da margem, bem estar da população humana e a proteção do recurso hídrico. Por outro lado, as faixas C (20 a 30 m), D (30 a 40 m) e E (40 a 50 m) são predominantemente antropizadas, sendo uma situação consolidada e de difícil reversão, no qual as funções ambientais estão mais prejudicadas. Este aspecto é relevante, na medida em que permite discutir as funções ambientais de uma APP de modo segmentado.

A aplicação da APP de 50 m para o Rio do Peixe em sua zona urbana consolidada pode ser considerada tecnicamente inviável, pois, devemos levar em consideração o entorno, sendo que a quantidade de construções e ocupações são irreversíveis, fazendo mais sentido estudar e definir

a metragem de preservação mínima em que se exerça as funções ambientais, conforme é possível perante a Lei 14.285, de 29 de dezembro de 2021 (Brasil 2021), a qual alterou a Lei 12.651 de 2012 (Brasil 2012), facultando aos municípios que definam a APP que deve ser respeitada, ouvidos os conselhos estaduais de meio ambiente, sendo que somente poderão ser aplicadas em recursos hídricos localizados em áreas urbanas consolidadas. Neste sentido, a metodologia desenvolvida neste estudo poderá ser aplicada para embasar, de modo técnico e científico, a delimitação de faixas de APP pelas Prefeituras municipais nas áreas urbanas consolidadas, nos termos da Lei 14.285/2021. Consideramos ainda que a aplicação dos indicadores definidos neste estudo pode constituir ferramenta relevante para auxiliar a análise de desempenho das funções ambientais em uma determinada APP, constituindo um lastro objetivo para este tipo de análise, hoje muito dependente da discricionariedade técnica dos agentes envolvidos. O desenvolvimento e aplicação de métricas e indicadores mais objetivos para avaliar funções ambientais das APPs, associados ao uso de geotecnologias, apresenta um potencial relevante para otimizar as análises do órgão ambiental, inclusive dando escala às análises, resultando em

maior eficiência nos processos de licenciamento ambiental.

Reconhecemos ainda algumas limitações do nosso estudo e perspectivas para aprimoramentos futuros. O uso da base de imagens do Google Earth se mostrou adequado pela resolução espacial e pela disponibilidade acessível e gratuita. No entanto, as imagens apresentam limitações para cálculos de áreas, perímetros e distâncias (Zhao et al. 2021). Deste modo, a metodologia aqui desenvolvida pode ser replicada, futuramente, com uso de imagens de satélite ortorretificadas com alta resolução espacial, como as do CBERS 4A, que dispõe de sensor Multiespectral e Pancromático de Ampla Varredura (WPM), possibilitando geração de imagens com resolução espacial de 2 metros (Barbosa et al. 2023). Outra alternativa seria o uso de ortofotos obtidas por veículos aéreos não tripulados (VANTs), que apresentam resolução centimétrica e são cada vez mais utilizados em monitoramentos de florestas (Almeida et al. 2024). A utilização destas imagens em ambiente SIG pode possibilitar também a classificação automática supervisionada das classes de uso e cobertura da terra, dando maior escala e agilidade para as análises.

O uso do MDE obtido a partir do projeto Topodata também apresenta questões que precisam ser reconhecidas, em especial no que se refere à resolução espacial de 30 metros por pixel que, para a situação de análise do declive nas APPs, não é a ideal, já que boa parte da APP pode ser recoberta por um único pixel. Estudos futuros também poderão lançar mão da aerofotogrametria por VANT, que permite a geração de MDEs de elevada precisão e acurácia (Pedreira et al. 2020), refinando os resultados a partir da metodologia aqui proposta. Esperamos que estudos futuros realizados em outras APPs de interesse possam validar e promover melhorias na metodologia aqui desenvolvida.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A APP do Rio Peixe em área urbana consolidada do município de Socorro, no trecho objeto do estudo, se apresenta em 46,16% de sua extensão com função ambiental altamente prejudicada, sendo que as faixas mais distantes do corpo hídrico se apresentam com funções mais comprometidas, e as faixas mais próximas do corpo hídrico estão com funções ambientais mais íntegras. A metodologia desenvolvida e aplicada neste estudo possibilitou (i) reconhecer graus variáveis de prejuízo da função

ambiental da APP nas faixas delimitadas em paralelo ao corpo hídrico, o que permite (ii) subsidiar técnica e cientificamente decisões do poder público municipal quanto à redefinição de APPs em áreas urbanas consolidadas nos termos da Lei 14.285/2021, permitindo ainda (iii) dar escala e maior objetividade às análises do órgão ambiental estadual quanto à avaliação das funções ambientais das APPs no contexto do licenciamento ambiental.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores FAB, AMRG e FRG agradecem a Escola Superior da CETESB e o Programa de Pós-Graduação em Conformidade Ambiental com Requisitos Técnicos e Legais. FRG e PGM agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, projeto Compreendendo florestas restauradas para o benefício das pessoas e da natureza – NewFor (nº do processo: 2018/18416-2) e projeto Centro de Ciência para o Desenvolvimento Restauração de vegetação nativa na Mata Atlântica pela combinação estratégica de medidas obrigatórias e compromissos voluntários - CCD-EMA (nº do processo 2021/11940-0). Agradecem também o Centro de Pesquisa e Extensão em Geotecnologias - CePE-Geo – UFSCar. Todos os autores agradecem as contribuições dos revisores anônimos para a melhoria do texto.

6 CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Felipe Augusto Braz: concepção, metodologia, software, curadoria e análise de dados, mapas, escrita do manuscrito, revisão e edição. Adriana Maira Rocha Goulart: metodologia, revisão e edição. Paulo Guilherme Molin: metodologia, revisão e edição. Felipe Rosafa Gavioli: concepção, metodologia, análise de dados, escrita do manuscrito, revisão e edição, supervisão do projeto.

7 CONFLITOS DE INTERESSE

Felipe Augusto Braz declara que atua em consultoria ambiental. Adriana Maira Rocha Goulart e Felipe Rosafa Gavioli declaram que atuam como funcionários da CETESB, e que as opiniões expressas neste artigo não refletem, necessariamente, a posição institucional da CETESB. Paulo Guilherme Molin declara que não há conflitos de interesse relacionados à publicação do manuscrito.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida DRA, Vedovato LB, Fuza M, Molin P, Cassol H, Resende AF, Krainovic PM, de Almeida CT, Amaral C, Haneda L, Albuquerque RW, Gorgens E, Romanelli J, Ferreira M, Salk C, Espinoza N, Silva C, Broadbent E, Brancalion PH. 2025. Remote sensing approaches to monitor tropical forest restoration: Current methods and future possibilities. *Journal of Applied Ecology* 62:188-206. Doi: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14830>
- Araújo LS. 2015. Análise da expansão urbana e implicações nas Áreas de Preservação Permanente com auxílio de geotecnologias no município de Indaiatuba (SP). Campinas, 99p. Monografia (Graduação em Geografia) – Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas.
- Arroyo-Rodriguez V, Fahrig L, Tabarelli M, Watling J, Tischendorf L, Benchimol M, Cazetta E, Faria D, Leal IR, Melo FPL, Morante-Filho J, Santos BA, Arasa-Gisbert R, Arce-Pena N, Cervantes-López MJ, Valenzuela SC, Acedo CG, San-José M, Vieira ICG, Slik JWF, Nowakowski AJ, Tschardt T. 2020. Designing optimal human-modified landscapes for forest biodiversity conservation. *Ecology Letters* 23(9): 1404-1420. Doi: 10.1111/ele.13535.
- Barbosa LS, Cunha MM, Miranda Junior IA, Santos AP. Análise da viabilidade da utilização de imagens CBERS 4A-PAN na atualização cartográfica do mapeamento de referência brasileiro. 2023. Anais do XX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. INPE, Florianópolis, p. 718-721.
- Brasil. 2021. Lei nº 14.285 de 29 de dezembro de 2021. Altera as Leis nº 12.651, de 25 de maio de 2012, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa, 11.952, de 25 de junho de 2009, que dispõe sobre regularização fundiária em terras da União, e 6.766, de 19 de dezembro de 1979, que dispõe sobre o parcelamento do solo urbano, para dispor sobre as áreas de preservação permanente no entorno de cursos d'água em áreas urbanas consolidadas. *Diário Oficial da União*, Brasília: 29 de dezembro 2021 Disponível em: <https://in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.285-de-29-de-dezembro-de-2021-370917982>. Acesso em maio de 2023.
- Brasil. 2012. Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília: 28 maio 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm. Acesso em maio de 2023.
- Brasil. 1979. Lei nº 6.766 de 19 de dezembro de 1979. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências. *Diário Oficial da União*, Brasília: 20 de dez 1979. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6766.htm. Acesso em maio 2023.
- Etto TL, Longo RM, Arruda DR, Invenioni R. 2013. Ecologia da paisagem de remanescentes florestais na bacia hidrográfica do Ribeirão das Pedras - Campinas-SP. *Revista Árvore* 37(6): 1063-1071. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622013000600008>.
- Ferraz JMG. 2003. As dimensões da sustentabilidade e seus indicadores. In: Marques JF, Skorupa LA, Ferraz JMG. *Indicadores de sustentabilidade em agroecossistemas*. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2003. p.17-33.
- Gavioli FR, Molin PG, Valente RA. 2022. The role of small forest patches in the ecological quality of an anthropized landscape of the Atlantic Forest. *Research, Society and Development* 11(6): p. e38311629162, Doi: 10.33448/rsd-v11i6.29162.
- Gavioli FR, Hossomi AMT. 2020. Avaliação da temporalidade de ocupações em Áreas de Preservação Permanente no município de Jundiá/SP. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana* 15(3):1-17.
- Google Earth. Software Google Earth. 2023.
- Harano FKF, Galvanin EAS. 2023. Análise da dinâmica do uso da terra nas áreas de preservação permanente urbanas em Mogi das Cruzes – SP. *Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana* 21(12): 27002-27014. Doi: 10.55905/oelv21n12-189.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. 2022. IBGE Cidades: Socorro – São Paulo. Disponível em <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/socorro/panorama>. Acesso dezembro.2022.

Instituto Florestal. 2020. Inventário Florestal do Estado de São Paulo 2020: mapeamento da cobertura vegetal nativa. São Paulo: Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente do Estado de São Paulo, 40p. Disponível em: www.iflorestal.sp.gov.br

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. 2023. Projeto Topodata – banco de dados geomorfométricos do Brasil. Disponível em <http://www.dsr.inpe.br/topodata/index.php>. Acesso maio.2023.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT. 2023. Mapa de áreas de alto e muito alto risco a deslizamentos e inundações do Município de Socorro, SP. Disponível em http://datageo.ambiente.sp.gov.br/serviceTranslator/rest/getXml/IPT_Geoserver_WMS/Risco_Socorro/1449249772296/wms Acesso maio.2023.

MAPBIOMAS. 2022. Análise da ocupação urbana em torno de corpos hídricos no Brasil. (Nota técnica). Disponível em: https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/Nota+T%C3%A9cnica/Nota_tecnica_Ocupacao_urbana_em_torno_de_corpos_hidricos_no_Brasil_v010822_1.pdf. Acesso em maio.2023.

Meli P, Calle A, Calle Z, Ortiz-Arrona CI, Sirombra M, Brancalion PHS. 2019. Riparian-forest buffers: Bridging the gap between top-down and bottom-up restoration approaches in Latin America. *Land Use Policy* 87 (104085): 1-6. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104085>.

Mello K, Taniwaki RH, Paulo FR, Valente RA, Randhir TO, Macedo DR, Leal CG, Rodrigues CB, Hughes RM 2020. Multiscale land use impacts on water quality: Assessment, planning, and future perspectives in Brazil. *Journal of Environmental Management* 270(110879): 1-16. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110879>

Pedreira WJJ, Oliveira JA, Santos PS. 2020. Avaliação da acurácia altimétrica usando a tecnologia VANT. *Caminhos de Geografia* 21(73): 209-222. Doi: <https://doi.org/10.14393/RCG217348071>

Ribeiro MP, Mello K, Valente R. 2020. Avaliação da estrutura da paisagem visando à conservação da biodiversidade em paisagem urbanizada. *Ciência Florestal* 30(3): 819-834. Doi: 10.5902/1980509837683. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/37683>. Acesso em: 22 jun. 2023.

Santana LD, Prado-Junior JA, Ribeiro JHC, Ribeiro MAS, Pereira KMG, Antunes K, Carvalho FA, Van Den Berg E. 2021. Edge effects in forest patches surrounded by native grassland are also dependent on patch size and shape. *Forest Ecology and Management* 482(15): 118842. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118842>.

São Paulo. 2018. Deliberação Normativa Consema 3 de 04 de dezembro de 2018. Reconhece como atividade de baixo impacto ambiental a implementação ou a regularização de edificações em imóveis urbanos cujas Áreas de Preservação Permanente (APPs) tenham perdido suas funções ambientais. *Diário Oficial do Estado, São Paulo*: 13 de dez 2018. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/licenciamentoambiental/wp-content/uploads/sites/32/2019/05/Delibera%C3%A7%C3%A3o-CONSEMA-n%C2%BA-03-2018.pdf>. Acesso em maio 2023.

São Paulo. 2015. Lei Estadual 15.684 de 14 de janeiro de 2015. Dispõe em caráter específico e suplementar, nos termos dos artigos 23, III, VI e VII e 24, VI e parágrafos da Constituição Federal e nos termos dos artigos 191, 193, XVI, 194, parágrafo único, 197, 205, III, 209, 213, da Constituição do Estado de São Paulo, sobre o Programa de Regularização Ambiental - PRA das propriedades e imóveis rurais, criado pela Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012 e sobre a aplicação da Lei Complementar Federal nº 140, de 8 de dezembro de 2011, no âmbito do Estado de São Paulo. *Diário Oficial do Estado, São Paulo*, 29 de janeiro de 2015. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2015/lei-15684-14.01.2015.html>. Acesso em março/2024.

Silva AL, Ribeiro AI, Longo RM. 2021. Qualidade ambiental de remanescentes florestais na sub-bacia do Rio Capivari (Campinas/SP). *Sociedade & Natureza* 33: 1-10. Doi: <https://doi.org/10.14393/SN-v33-2021-59129>

Silva AL, Longo RM, Bressane A, Carvalho MFH. 2019. Classificação de fragmentos florestais urbanos com base em métricas da paisagem. *Ciência Florestal* 29(3): 1254-1269. Doi: 10.5902/1980509830201. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/30201>. Acesso em: 22 jun. 2023.

Taniwaki RH, Forte YA, Silva GO, Brancalion PHS, Coguetto CV, Filoso S, Ferraz SFB. 2018. The Native Vegetation Protection Law of Brazil and the challenge for first-order stream conservation. *Perspectives in Ecology and Conservation* 16(1): 49-53. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2017.08.007>.

Zhao Q, Yu L, Li X, Peng D, Zhang Y, Gong P. 2021 Progress and Trends in the Application of Google Earth and Google Earth Engine. *Remote Sensing* 13(18): 3778. Doi: <https://doi.org/10.3390/rs13183778>.