

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

ANÁLISE TEMPORAL DE VULNERABILIDADE A INUNDAÇÕES NA BACIA HIDROGRÁFICA RIBEIRÃO DA RAPOSA - APUCARANA (PR)

Paula Yuri Taniwaki¹; Vitor Antonio Campos²; Ligia Flávia Antunes Batista³; Kátia Valéria Marques Cardoso Prates⁴

Abstract: Knowing the physical characteristics of watersheds, such as slopes, soil types and land use and occupation, is essential for planning water resources and analyzing the environmental conditions of watersheds. With urbanization, there is an increase in the environmental impact of anthropogenic activity, such as soil sealing, which is a trigger for flooding. In this context, the aim of this study was to identify the areas vulnerable to flooding in the years 2010 and 2024 in the Ribeirão Raposa Hydrographic Basin (BHRR) in Apucarana (PR) and their relationship with land use and occupation. To this end, maps of hydrological soil types, land use and occupation, runoff potential, slope and, finally, the flood vulnerability map were drawn up by cross-referencing these maps with the QGIS r.cross tool. The basin is predominantly composed of hydrological soil C, with an increase in the value of the predominant CN from 2010 to 2024 and an increase in runoff potential. Changes in the dynamics of land use and occupation were identified, with a reduction in areas of vegetation and an increase in urban areas, plantations and exposed soil. The predominant slope in the BHRR is the strongly undulating class. In 2010, 2.13 km² (5.87%) of flood points were identified and in 2024 this area increased to 2.45 km² (6.75%), indicating the correspondence of this event with changes in land use and occupation.

Resumo: Conhecer as características físicas como declividade, tipos do solo, e o uso e ocupação do solo nas bacias hidrográficas é essencial no planejamento de recursos hídricos e na análise das condições ambientais das bacias. Com a urbanização, há um aumento do impacto ambiental pela atividade antrópica como a impermeabilização do solo, fator desencadeante de inundações. Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo identificar as áreas vulneráveis a inundações nos anos de 2010 e 2024 na Bacia Hidrográfica Ribeirão Raposa (BHRR) em Apucarana (PR) e sua relação com o uso e ocupação do solo. Para isso foram elaborados mapas de tipos de solo hidrológicos, uso e ocupação do solo, potencial de escoamento superficial, declividade e, por fim, o mapa de vulnerabilidade a inundações feito a partir do cruzamento desses mapas com a ferramenta r.cross do QGIS. A bacia é composta predominantemente por solo hidrológico C, apresentou um aumento do valor do CN predominante de 2010 para 2024 e aumento do potencial de escoamento superficial. Foram identificadas mudanças na dinâmica de uso e ocupação do solo com a redução de áreas de vegetação e aumento de áreas urbanas, de plantio e de solo exposto. A declividade predominante na BHRR é a classe forte ondulado. Em 2010 foram identificados 2,13 km² (5,87%) de pontos de inundação e em 2024 essa área aumentou para 2,45 km² (6,75%), indicando a correspondência desse evento com as mudanças de uso e ocupação do solo.

¹) Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Av. João Miguel Caram, 731 - Londrina - PR, taniwaki@alunos.utfpr.edu.br

²) Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Av. João Miguel Caram, 731 - Londrina - PR, vcampos@alunos.utfpr.edu.br

³) Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Av. João Miguel Caram, 731 - Londrina - PR, ligia@utfpr.edu.br

⁴) Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Av. João Miguel Caram, 731 - Londrina - PR, kprates@utfpr.edu.br

Palavras-Chave – método CN, expansão urbana, escoamento superficial.

INTRODUÇÃO

A urbanização, ao expandir e adensar as áreas urbanas, aumenta a pressão sobre as bacias hidrográficas, provocando problemas como impermeabilização do solo, aumento do escoamento superficial, poluição dos cursos d'água, degradação das margens, erosão, e afetando os ciclos hidrológicos naturais (Tavares 2021). Fenômenos naturais que ocorrem em eventos de chuva como as inundações, em que ocorre o transbordamento das águas, são agravados pelas consequências da urbanização.

Nesse contexto, uma ferramenta que pode ser aplicada para auxiliar em estudos e tomadas de decisão referentes à expansão urbana e inundações, é o geoprocessamento, ajudando em análises de impactos da urbanização, podendo identificar padrões e mudanças nos ecossistemas.

Uma das aplicações do geoprocessamento é a classificação de imagens, que se destaca por extrair informações detalhadas sobre o uso do solo a partir de imagens de satélite e subdividi-lo em classes por similaridades espectrais. Metodologias modernas como a *Object-Based Image Analysis-OBIA* (classificação de imagem orientada ao objeto), permitem considerar relações espaciais de vizinhança, a forma, a textura e o contexto dos objetos na imagem (De Conto, 2024) para realização da classificação.

Com o mapeamento e a análise do uso do solo, é possível identificar áreas de risco e planejar ações de preservação ambiental (Kalisk e Ferrer, 2016). O geoprocessamento vem sendo muito utilizado na identificação de áreas vulneráveis a inundações devido a possibilidade de mapear distribuições espaciais e temporais dos recursos hídricos e de criar projeções futuras, contribuindo para a mitigação e identificação de possíveis desastres (Wang e Xie, 2018).

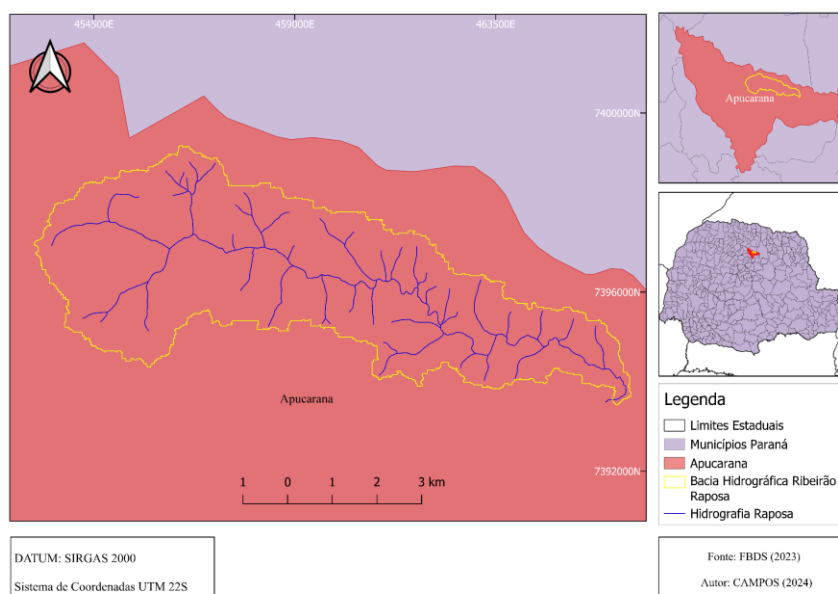
Dessa forma, este trabalho buscou realizar uma análise temporal, para os anos de 2010 e 2024, do uso e ocupação do solo e de suscetibilidade a inundações na Bacia Hidrográfica do Ribeirão da Raposa (BHRR) localizada em Apucarana (PR).

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A Bacia Hidrográfica do Ribeirão Raposa (BHRR), situada no município de Apucarana, no norte do Paraná, abrange uma área de cerca de 36 km². Em seu território, estão incluídos o Parque Ecológico da Raposa, além de zonas urbanas, áreas de plantio e regiões com cobertura vegetal. Na Figura 1, é possível observar a localização da área da bacia e sua hidrografia.

Figura 1 – Mapa da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Raposa



Metodologia OBIA

As imagens da BHRR foram obtidas pelo satélite RapidEye, para o ano de 2010, e PlanetScope, para o de 2024, ambos operados pela Planet Labs (Planet Team, 2024), com resoluções espaciais de 5 m e 3 m, respectivamente, e múltiplas bandas espectrais. As imagens foram recortadas no QGIS (QGIS, 2024) para os limites das bacias e segmentadas com o algoritmo LargeScaleMeanShift do OrfeoToolBox. Foram definidas cinco classes de uso e ocupação do solo (vegetação, área urbana, plantio, água e solo exposto), e coletadas 100 amostras por classe manualmente, divididas em 70% para treinamento e 30% para validação. A classificação foi feita com o algoritmo Random Forest, e os rótulos de classe foram aplicados com a ferramenta VectorClassifier. Por fim, a acurácia foi avaliada com as métricas kappa e exatidão global, processo com o plugin Semi-Automatic Classification.

Tipos de solos hidrológicos

O mapa de solos hidrológicos foi elaborado a partir da correspondência das características dos tipos de solo presentes na bacia, conforme a classificação de solos hidrológicos apresentada por Santos, Lollo (2016), em que:

Tipo de solo hidrológico A: Solos arenosos com baixo teor de argila total, inferior a 8%, sem rocha nem camadas argilosas, ou mesmo densificadas, até a profundidade de 1,5 m. O teor de húmus é muito baixo, não atingindo 1%;

Tipo de solo hidrológico B: Solos arenosos menos profundos que os do grupo A e com menos teor de argila total, porém ainda inferior a 15%. Não pode haver pedras nem camadas argilosas até 1,5 m, mas é quase sempre presente camada mais densificada que a camada superficial;

Tipo de solo hidrológico C: Solos barrentos com teor total de argila de 20 a 30%, mas sem camadas argilosas impermeáveis ou contendo pedras até profundidade de 1,2 m. No caso de terras roxas, estes dois limites máximos podem ser de 40% e 1,5 m. Nota-se a cerca de 60 cm de

profundidade, camada mais densificada que nos solos do grupo B, no entanto ainda longe de condições de impermeabilidade.

Tipo de solo hidrológico D: Solos argilosos (30 a 40% de argila total) e ainda com camada densificada a uns 50 cm de profundidade. Ou solos arenosos como os do grupo B, mas com a camada argilosa quase impermeável, ou horizontes de seixos rolados.

Dessa forma, latossolos e nitossolos foram classificados como Tipo C, devido a sua característica argilosa de baixa infiltração. Já os neossolos foram classificados como Tipo D em razão da sua baixa profundidade e grande potencial de escoamento superficial (Toniolo, 2011).

Potencial de escoamento superficial

O método Curve Number da Soil Conservation Services (CN-SCS) (SCS, 1964) é amplamente utilizado para a determinação do escoamento superficial direto quando não há dados hidrológicos suficientes (Brand *et al.* (2013)). O Curve Number (CN) depende do tipo, uso e ocupação do solo e umidade do solo na bacia hidrográfica.

A partir disso, para a construção do mapa de potencial de escoamento superficial foi feita a combinação dos dados de tipos de solos hidrológicos e uso e ocupação do solo por meio da ferramenta r.cross disponível no complemento GRASS do QGIS. Cada combinação gera um valor de CN, apresentado na Tabela 1, adaptada de Toniolo (2011). Os valores de CN apresentados foram os utilizados para este trabalho, em que foi encontrado solo hidrológico C e D.

Tabela 1 – Valores de CN em função do uso e cobertura do solo e tipo de solo hidrológico

| CN | Tipos de solo hidrológicos | |
|-----------------|----------------------------|----|
| | C | D |
| Vegetação | 71 | 78 |
| Área Urbana | 83 | 87 |
| Área de Plantio | 84 | 88 |
| Água | 0 | 0 |
| Solo Exposto | 88 | 90 |

Declividade

O mapa de declividade foi elaborado a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) Forest and Buildings removed Copernicus DEM (FABDEM) (Neal e Hawker, 2023) com resolução de 30m da área de estudo. O dado raster foi incorporado ao software QGIS para gerar as declividades em porcentagem. As classes de relevo adotadas consistem em plano (declividade 0–3%), suave ondulado (3–8%), ondulado (8–20%), forte ondulado (20–45%), montanhoso (45–75%) e fortemente montanhoso ($\geq 75\%$).

Vulnerabilidade a inundações

Esse mapa foi elaborado a partir do cruzamento do mapa de potencial de escoamento superficial com o de declividade a partir da ferramenta r.cross do QGIS. Foram considerados pontos vulneráveis

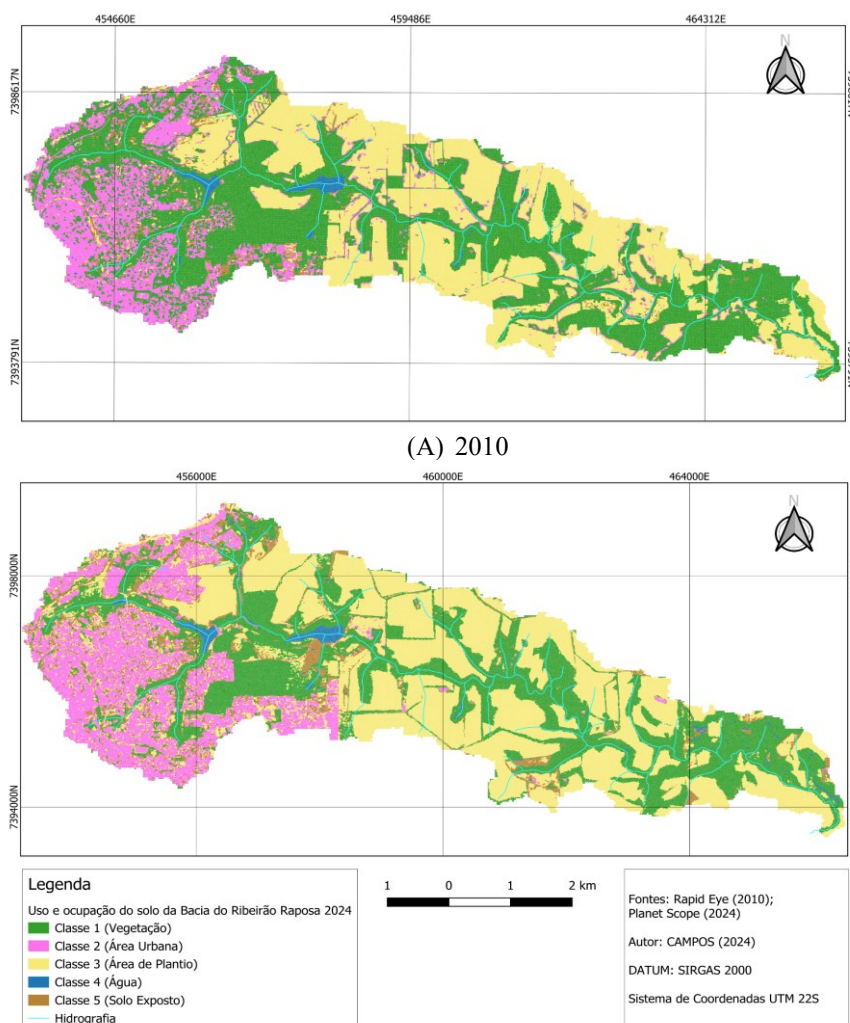
a inundações os correspondentes às classes de relevo plano e suave ondulado e com valor de CN superior a 83, indicando alto índice de escoamento superficial, baseado em Borini (2010).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Uso e ocupação do solo

Na Figura 2, encontra-se o mapa da classificação da imagem pela metodologia OBIA da BHRR, nos anos de 2010 e 2024. Os valores correspondentes das áreas de cada classe estão dispostos na Tabela 2.

Figura 2 – Mapa de uso e ocupação do solo da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Raposa (BHRR)



Entre 2010 e 2024, a vegetação reduziu de 16,29 km² (44,56% da área total) para 11,66 km² (32,00%), sendo convertida principalmente para áreas de plantios e solo exposto. O solo exposto, por sua vez, cresceu de 1,20 km² (3,27%) para 2,88 km² (7,90%), indicando processos de degradação ambiental, possivelmente associados ao desmatamento, erosão e atividades humanas. A área urbana apresentou crescimento de 5,85 km² (16,10%) para 5,99 km² (16,44%), sugerindo um desenvolvimento moderado. A classe de plantio foi a classe com o maior crescimento, aumentando de 12,71 km² (34,89%) em 2010 para 15,43 km² (42,34%) em 2024, intensificando o uso agropecuário em áreas antes ocupadas principalmente por vegetação. Já os corpos d'água tiveram um aumento de

0,43 km² (1,18%) para 0,48 km² (1,32%), possivelmente influenciada por processos naturais, assoreamento, desmatamento, construções de reservas ou mudanças sazonais na disponibilidade hídrica.

Tabela 2 – Área das classes da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Raposa (BHRR)

| Classe | 2010 | | 2024 | |
|----------------------------|-------------------------|--------|-------------------------|--------|
| | Área (km ²) | % Área | Área (km ²) | % Área |
| 1 (Vegetação) | 16,29 | 44,56 | 11,66 | 32,00 |
| 2 (Área Urbana) | 5,88 | 16,10 | 5,99 | 16,44 |
| 3 (Área de Plantio) | 12,75 | 34,89 | 15,43 | 42,34 |
| 4 (Água) | 0,43 | 1,18 | 0,48 | 1,32 |
| 5 (Solo Exposto) | 1,20 | 3,27 | 2,88 | 7,90 |
| Total | 36,55 | 100,00 | 36,44 | 100,00 |

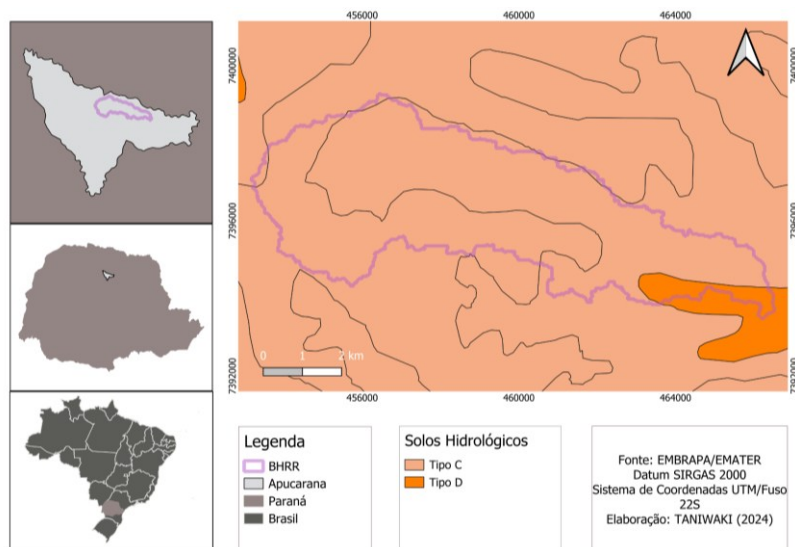
Acurácia da classificação de imagem

A exatidão global e o índice kappa para a classificação da BHRR em 2010, foi de 95,68% e 0,94, respectivamente, e para 2024 foi de 92,17% e 0,89. A redução da exatidão da classificação de 2024 pode estar relacionada principalmente pela confusão da classe de área de plantio, que devido a diferença entre sazonalidades e crescimento das culturas plantadas, ocasiona dificuldades na classificação.

Tipos de solos hidrológicos

O mapa de solos hidrológicos está apresentado na Figura 3. Na área de estudo são encontrados os tipos de solo latossolo, nitossolo e neossolo. A BHRR é composta por 34,82km² (95,80%) de solo hidrológico tipo C e 1,53km² (4,20%) de solo hidrológico tipo D.

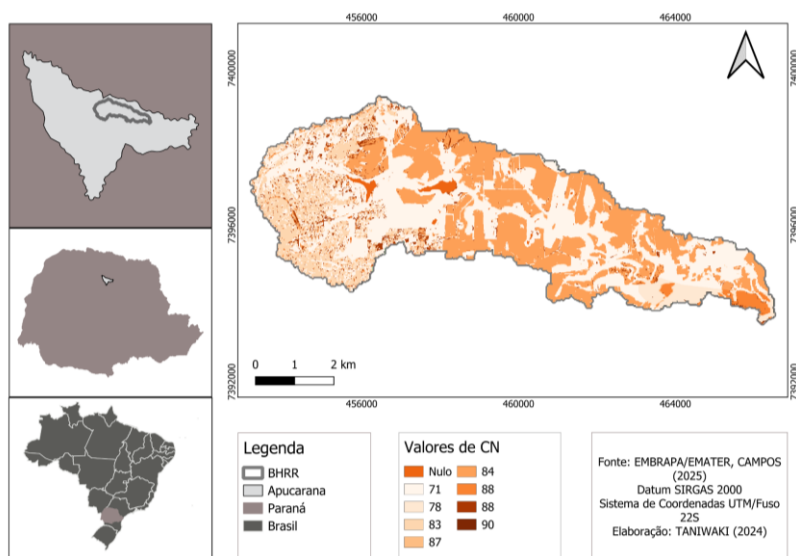
Figura 3 – Mapa de solos hidrológicos da Bacia Hidrográfica do Ribeirão da Raposa (BHRR)



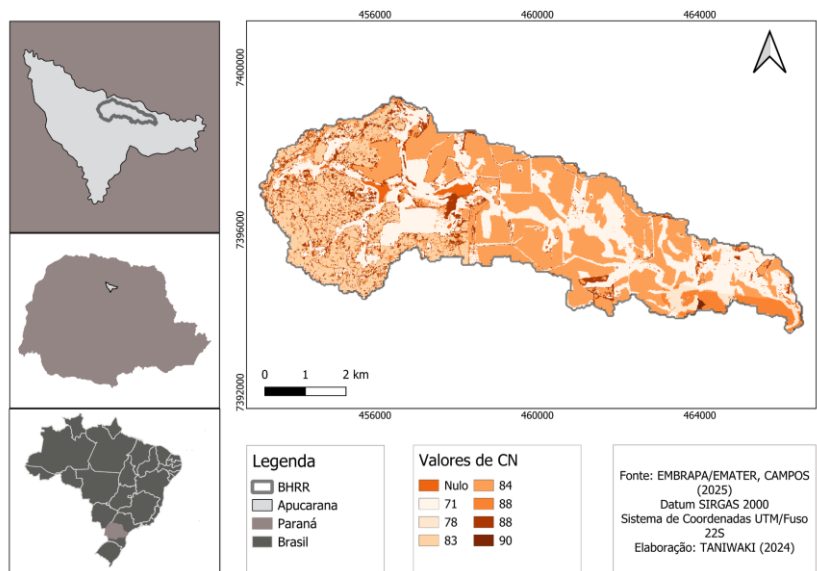
Potencial de escoamento superficial

Em 2010, o valor de CN 71 foi o mais presente na BHRR, ocupando 41,96% da área, seguida pelo valor de CN de 84 (33,49%). Já em 2024, observa-se que o CN 84 passou a ser o mais presente na bacia hidrográfica (39,83%), seguida do CN 71 (30,44%) que era mais frequente em 2010. Houve um aumento do valor de CN predominante de 2010 para 2024, indicando um aumento do potencial de escoamento superficial, como indicado pela Figura 4, que representa o mapa de escoamento superficial da BHRR. Percebe-se essa diferença principalmente na cabeceira da bacia, à oeste.

Figura 4 – Mapa de potencial de escoamento superficial da Bacia Hidrográfica do Ribeirão da Raposa (BHRR)



(a) 2010



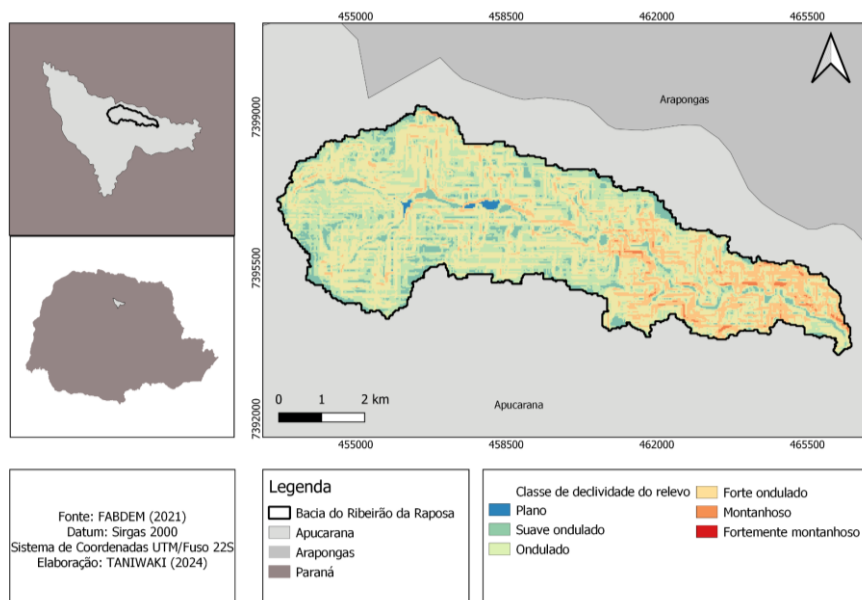
(b) 2024

Declividade

A classe de declividade predominante na BHRR é a de relevo forte ondulado (47,11%), seguida de ondulado (29,33%). Conforme o mapa de declividade apresentado na Figura 5, observa-se uma

concentração de declividade montanhosa e fortemente montanhosa na foz da bacia hidrográfica, localizada a leste.

Figura 5 – Declividade do relevo da Bacia Hidrográfica do Ribeirão da Raposa (BHRR)



Vulnerabilidade a inundações

O mapa de vulnerabilidade a inundações da BHRR está apresentado na Figura 6. Em 2010 foram identificados 2,13 km² (5,87% da área total da bacia) de pontos de inundações e em 2024, 2,45 km² (6,75%), aumento relacionado com as mudanças no uso e cobertura do solo durante esse período, como observado na Figura 7, em que foi feito um recorte de uma área correspondente a Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) campus Apucarana. Verifica-se que em 2010 há maior presença de solo exposto, enquanto em 2024 a área foi composta por mais construções e classificada como área urbana.

Figura 6 – Mapa de vulnerabilidade a inundações da Bacia Hidrográfica do Ribeirão da Raposa (BHRR)

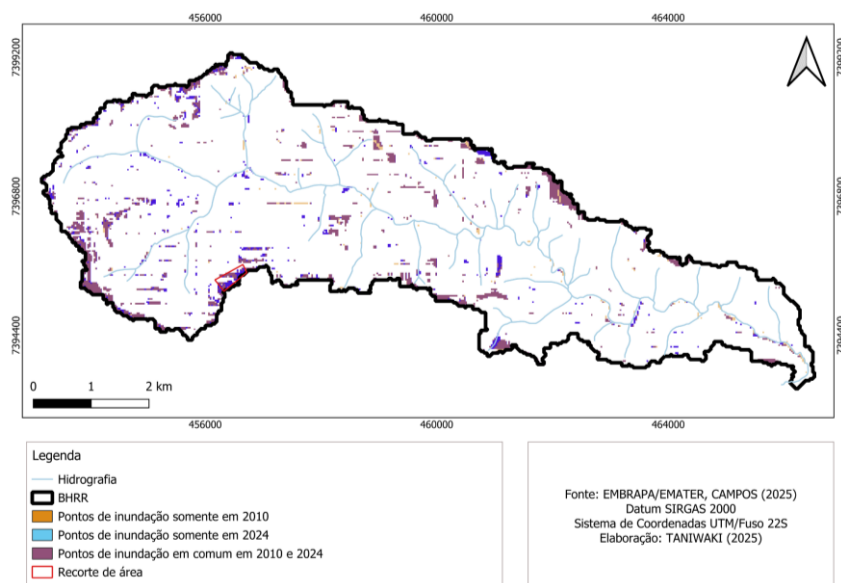


Figura 7 – Visualização de imagem de satélite de uma área vulnerável a inundações da BHRR

2010



2024



CONCLUSÃO

Em relação às dinâmicas de uso e ocupação do solo, destaca-se o aumento das áreas de plantio, indicando a intensificação das atividades agropecuárias na bacia e o aumento das áreas de solo exposto e da classe de água, podendo indicar processos de degradação ambiental, como erosão e desmatamento. As áreas suscetíveis a inundação na bacia, por sua vez, aumentaram de 2010 para 2024 indicando correspondência com as mudanças de uso e ocupação do solo, em que foi observada uma maior presença de classes que corroboram para esse evento durante esse período, como a área urbana e o solo exposto.

AGRADECIMENTOS

Os Autores gostariam de agradecer ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) pelo apoio recebido.

REFERÊNCIAS

- BORINI, D. A. Modelagem dinâmica do escoamento superficial da área urbana do município de Santa Maria – RS - Relatório Final de Projeto de Iniciação Científica (PIBIC/CNPq/INPE), Santa Maria, 2010.
- BRAND, V. S.; UZEDA; BATISTA, L. F. A.. Estimativa de áreas de risco de alagamento na bacia do Ribeirão Lindóia no Paraná (PR). In: IV WORKSHOP INTERNACIONAL SOBRE PLANEJAMENTO E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL EM BACIAS HIDROGRÁFICAS, 2013, Presidente Prudente. Anais, 2013. p. 1355-1366.
- DE CONTO, Danrlei et al. Comparação entre abordagens orientada a objetos geográficos e pixel a pixel para classificação supervisionada de imagens MSI/Sentinel-2: Comparison between approaches to geographic objects and per pixel for supervised classification of MSI/Sentinel-2 imagery. Revista de Geociências do Nordeste, v. 10, n. 1, p. 426-440, 2024.
- KALISK, A. D.; FERRER, T. R.; LAHM, R. A. Análise temporal do uso do solo através de ferramentas de geoprocessamento - estudo de caso: município de Butiá/RS, 2016.
- Neal, Jeffrey, and Laurence Hawker. 2023. "FABDEM V1-2." January. <https://doi.org/10.5523/bris.s5hqmjcdj8yo2ibzi9b4ew3sn>
- SANTOS, F.M.; LOLLO, J.A. Cartografia digital para estimativa de escoamento superficial visando ao planejamento urbano. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 21, n. 4, p. 663-675, 2016. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522016130053>
- Planet Team (2024). Planet Application Program Interface: In Space for Life on Earth. San Francisco, CA. <https://api.planet.com>.
- QGIS DEVELOPMENT TEAM. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. Versão 3.34. Disponível em: <https://qgis.org>.
- SCS, (1964). Estimation of direct runoff from storm rainfall. In: National Engineering Handbook. Section 4 – Hydrology. Chapter 10. Hydraulic Engineer. 30 p.
- TAVARES, Leticia Rigo et al. Práticas agroecológicas na preservação dos recursos hídricos: como os macroinvertebrados bentônicos respondem às alterações de qualidade da água. Tópicos em recuperação de áreas degradadas. Mérida Publishers, p. 276-302, 2021.
- TONIOLO, G. R., LACRUZ, M. S. P., & SAUSEN, T. M. (2013). Análise do escoamento superficial na bacia hidrográfica do rio Vacacaí Mirim. Revista Brasileira de Cartografia, 65(3), 605-615.
- WANG, X.; XIE, H. A review on applications of remote sensing and geographic information systems (GIS) in water resources and flood risk management. Water, v. 10, n. 5, p. 608, 2018.