



Revista Eletrônica do Programa de Pós-Graduação em Geografia - UFPR

AVALIAÇÃO DA DINÂMICA DO USO E COBERTURA DA TERRA NA BACIA HIDROGRÁFICA DE CAPTAÇÃO DA CORSAN - FREDERICO WESTPHALEN, RS COM IMAGENS DE ALTA RESOLUÇÃO ESPACIAL

*DYNAMIC EVALUATION OF LAND USE AND COVER OF THE CORSAN – FREDERICO
WESTPHALEN WATERSHED USING HIGH SPATIAL RESOLUTION IMAGES*

*EVALUACIÓN DINÁMICA DEL USO DEL SUELO Y LA COBERTURA DE LA CUENCA CORSAN –
FREDERICO WESTPHALEN UTILIZANDO IMÁGENES DE ALTA RESOLUCIÓN ESPACIAL*

(Recebido em 03-10-2023; Aceito em: 24-12-2025)

Paulo Roberto Alves Batista

Mestre, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) - Frederico Westphalen, Brasil
Mestrando no Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade Federal
de Santa Maria (UFSM) - Frederico Westphalen, Brasil
meioambienteassessoria@gmail.com

Fábio Marcelo Breunig

Doutor, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – São José dos Campos, Brasil
Professor, Universidade Federal do Paraná (UFPR) – Curitiba, Brasil
fabio-breunig@ufpr.br

Renato Beppler Spohr

Doutor, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) – Santa Maria, Brasil
Professor, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)- Frederico Westphalen, Brasil
renato.spohr@ufsm.br

Resumo

O monitoramento de áreas de preservação permanentes (APP) e bacias hidrográficas é fundamental para a gestão do territorial em escala local, regional e nacional. Assim, o objetivo desse estudo foi avaliar o potencial do uso de dados de alta resolução espacial das imagens orbitais da constelação de satélites PlanetScope e Rapideye no mapeamento do impacto do uso e cobertura da terra em uma microbacia hidrográfica de pequeno porte localizadas no município de Frederico Westphalen, RS, Brasil, utilizada no abastecimento de água e entender sua dinâmica. Foram utilizadas três imagens Rapideye de 2009, 2015 e 2020 e uma PlanetScope de 2023 (reflectância de superfície), dados de veículos aéreos não tripulados (VANTs) e dados de campo. O uso e cobertura da terra foi mapeado utilizando o classificador Support Vector Machine (SVM) e com o auxílio de inspeções de campo. Foram definidas as classes agricultura, pastagem, solo exposto e florestas. As drenagens foram delimitadas manualmente e o cenário de APPs de 10 e 30 metros foram avaliados no contexto das cinco sub-bacias que compõem a área de estudo. A análise mostrou uma forte expansão da mancha urbana e presença de solo exposto e paralelo a um aumento gradual da cobertura florestal nos

dois cenários de APPs, apesar da redução nas bacias como um todo. Em geral, observou-se a manutenção dos grandes maciços florestais na área de estudo durante os 15 anos de análise. Ainda, ficou evidente que as ações de instituições e proprietários para qualificar e recuperar APPs é um processo que demanda vários anos para apresentar resultados. As imagens de alta resolução espacial se mostraram adequadas para o acompanhamento da área de estudo.

Palavras-chave: Imagens de satélite; classificações, gestão ambiental, floresta; sensoriamento remoto.

Abstract

Monitoring permanent preservation areas (APPs) and watersheds is essential for managing the territory at local, regional and national levels. The objective of this study was therefore to evaluate the potential of using high-spatial-resolution data from PlanetScope and Rapideye satellite images to map the impact of land use and land cover in a small watershed in the municipality of Frederico Westphalen, RS, Brazil, which is used for water supply, and to understand its dynamics. The study used three Rapideye images from 2009, 2015 and 2020, one PlanetScope image from 2023 (all in surface reflectance), data from unmanned aerial vehicles (UAVs) and field data. Land use and land cover were analysed using a Support Vector Machine (SVM) classifier and field inspections. The following classes were defined: agriculture, pasture, exposed soil and forests. The drainages were delimited manually, and the APP scenarios of 10 and 30 metres were evaluated in the context of the five sub-basins that comprise the study area. The analysis revealed significant urban expansion and increased exposed soil alongside a gradual rise in forest cover in both APP scenarios, despite a decline in forest coverage within the watershed. Overall, the maintenance of large forest patches was evident in the study area throughout the 15-year analysis period. Furthermore, it was evident that the actions of institutions and farmers to qualify and recover APPs are processes that take several years to yield results. Finally, the results demonstrated the feasibility of using such high-spatial-resolution data to monitor the study area.

Key words: Satellite images; classifications, environmental management; forest, remote sensing

Resumen

El seguimiento de las áreas de preservación permanente (APP) y de las cuencas hidrográficas es obligatorio para la gestión del territorio a escala local, regional y nacional. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar el potencial de uso de datos de alta resolución espacial, obtenidos a partir de imágenes orbitales de las constelaciones de satélites PlanetScope y Rapideye, para cartografiar el impacto del uso y la cobertura del suelo en una pequeña cuenca ubicada en el municipio de Frederico Westphalen, RS, Brasil. Esta información es fundamental para el abastecimiento de agua y para comprender su dinámica. Para ello, se emplearon tres imágenes Rapideye de 2009, 2015 y 2020, así como una imagen PlanetScope de 2023 (todas ellas en reflectancia superficial), junto con datos de vehículos aéreos no tripulados (UAV) y datos de campo. La clasificación del uso y la cobertura del suelo se realizó utilizando el clasificador Support Vector Machine (SVM) e inspecciones de campo. Se definieron las clases de uso del suelo: agricultura, pastos, suelo expuesto y bosques. Los drenajes se delimitaron manualmente y se evaluaron los escenarios de APP de 10 y 30 metros en el contexto de las cinco subcuencas que conforman el área de estudio. El análisis reveló una notable expansión del área urbana y un aumento gradual de la cobertura forestal en ambos escenarios de APP, a pesar de la disminución de la cobertura forestal en la cuenca. En general, se observó el mantenimiento de grandes masas forestales en el área de estudio durante los quince años de análisis. Además, se puso de manifiesto que la actuación de instituciones y agricultores para calificar y recuperar las APP es un proceso que lleva varios años dar resultados. Por último, los resultados mostraron la viabilidad de utilizar datos de alta resolución espacial para monitorizar el área de estudio.

Palabras clave: Imágenes de satélite; clasificaciones, gestión ambiental; bosque; teledetección.

Introdução

A degradação ambiental originada pelo intensivo uso e ocupação da terra têm ocasionado inúmeros problemas para a sociedade. Neste caso, são modificados os espaços geográficos urbanos e rurais, transformando o meio ambiente. São alterações ocorridas por diversas finalidades, como construção de residências, estradas, canais e agropecuária. De acordo com Raffestin (1993), e Barbosa *et.al* (2005), são ações antrópicas provocadas na natureza com fins econômicos e sociais que impactam o meio ambiente. Em paralelo, sabe-se que o aumento demográfico, apesar de menos acelerado do que o esperado (IBGE, 2023), e o constante processo de urbanização muitas vezes acontecem de forma desordenada. Ou seja, sem levar em consideração os impactos ambientais locais ou mesmo regionais. A exemplo, os assentamentos urbanos periféricos, muitas vezes construídos sem autorização, loteamentos tanto legais quanto irregulares, representam uma questão social a ser resolvida no país. Compreender essa dinâmica é fundamental para a gestão do espaço geográfico e assim, promover ganhos do ponto de vista ambiental, social e econômico.

A ocupação de terras tem ocasionado forte impacto sobre os ecossistemas, sendo motivo de inquietação na gestão pública e privada. Neste contexto, as utilizações desmedidas têm ocasionado uma forte perda de solos e, indiretamente, no abastecimento d'água. É cientificamente comprovado que, seres microscópicos são importantes na sanidade e fixação de solos, auxiliam na retenção de nitrogênio (Raymond *et al.*, 2004; Baldani *et al.*, 1997), e na absorção de nutrientes (Miransari, 2013; Chagnon *et al.*, 2013), contudo, ao promover avanços da agricultura e áreas urbanas, esses "créditos ambientais" são penalizados. O solo é um elemento de fundamental importância para manutenção da vida, sua preservação é importante para a produção alimentar, e principalmente, dos recursos hídricos. Ao mesmo tempo, quando ocorre a má utilização da terra, associado a fenômenos atmosféricos, o solo e poluentes emergentes acabam sendo carregados para os reservatórios e rios, provocando problemas no ciclo hídrico e biológico (Perrando *et al.* 2020; Breunig *et al.* 2016; Tundisi *et al.* 2007; Gamboa *et al.* 2025; Konzen *et al.* 2024).

A ocupação e o manejo do solo inadequados geram sedimentação e processos erosivos, de lagos e rios (Vinsentin *et al.*, 2002; Cassol, Lima, 2003; Andrello *et al.*, 2003; Cassol *et al.*, 2004; Atreya *et al.*, 2005; Bertol *et al.*, 2003, 2004; Leite *et al.*, 2004). Portanto, técnicas inadequadas levam ao desgaste do solo, e conseqüentemente, redução da qualidade e volume da água. Neste caso, auxiliados por fenômenos naturais como chuva ou vento e topografia (Breunig *et al.*, 2016; Bertoni, Lombardi Neto, 2005). A alta carga sedimentar em sistemas hídricos pode piorar as condições ecológicas de corpos de água (Sobreira, 1998, Bilotta, Brazier, 2008).

Para mensurar e analisar perda de solos são necessários estudos de monitoramento em lagos

e rios próximos a áreas urbanas e rurais. Em síntese, a avaliação da dinâmica de bacias hidrográficas é fundamental. Nesse contexto, as ferramentas ancoradas no uso de imagens de sensoriamento remoto e em sistemas de informações geográficas (SIG) são fundamentais (Taudia, Goel, 2013; Jensen, 2009; McMaster, Manson, 2010; Goodchild, 2009; Committe On Strategic Directions For The Geographical Sciences In The Next Decade – National Research Council, 2010).

Atualmente, sensores orbitais de alta resolução espacial e temporal têm permitido o monitoramento de grandes extensões territoriais em tempo hábil. Neste caso, com a utilização da constelação de satélites óticos da PLANET LABS (Planet Team, 2018; Planet Team, 2020) e AXELSPACE (Axelspace Corporation, 2019). Podendo ainda, ser empregado o Radar de Abertura Sintética-SAR (Capella, Space, 2021; Iceye, 2021). Assim, combinar dados de resolução espacial submétrica com dados de alta repetitividade temporal representa um desafio para a ciência, dado o potencial dessa integração. Em geral, os processos erosivos hídricos de perda de solo, excedem quinhentos milhões de toneladas-ano no Brasil (Bertoni, Lombardi Neto, 1995). Uma parcela significativa do solo é assentada no assoalho de lagos e rios, provocando inúmeros problemas no leito de bacias hidrográficas. Pequenos afluentes são sustentáculos nessas bacias, escoamentos superficiais mínimos, contribuem para conservação d'água de bacias (Guerra, 2003).

Constata-se que devido ao uso inadequado da terra, podem ocorrer processo de erosão de solos de diversas formas, considerando as suas propriedades físicas locais e de uso (Shaeffer, 1996). Isso, pode ser estudado por meio de análises físico químicas e biológicas de uma determinada área. Neste caso, alguns locais podem ser menos ou mais suscetíveis ao carreamento sedimentar para cursos aquosos, conseqüentemente, às bacias. Dessa forma, para capturar os distintos padrões de erosão e as causas indiretas, os efeitos sobre as áreas de preservação permanentes (APPs), o mapeamento do tipo de uso e cobertura da terra é fundamental (Batista, Lenartovicz, 2022).

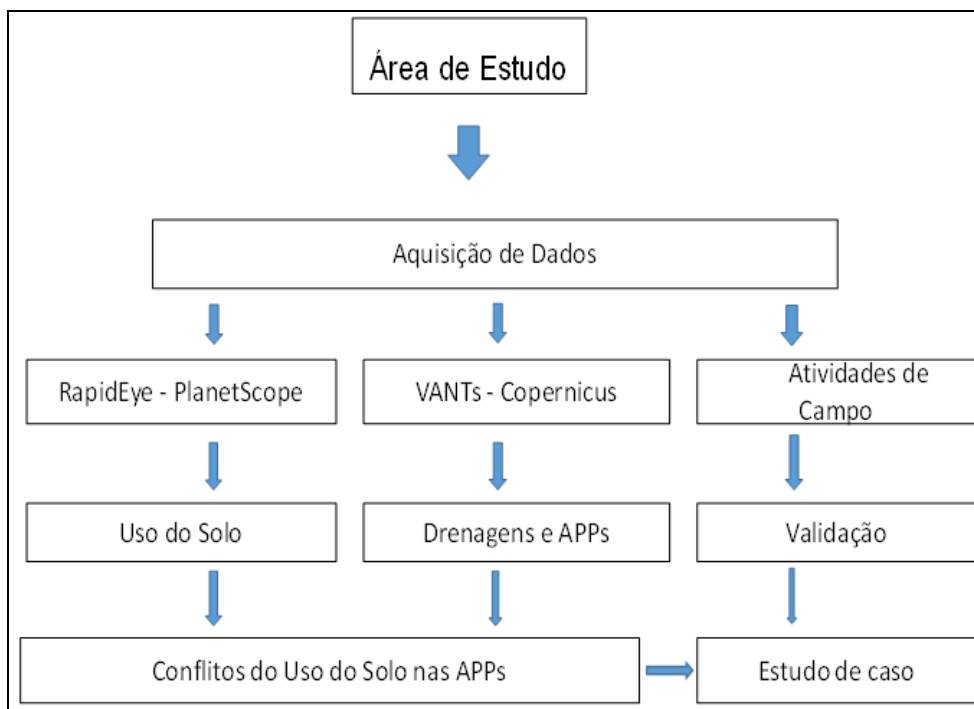
O presente estudo visa analisar a dinâmica do uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica da área de captação da Companhia Rio-grandense de Saneamento (CORSAN), situada no município de Frederico Westphalen e Taquaruçu do Sul, estado do Rio Grande do Sul, utilizando imagens de alta resolução espacial (Rapideye e PlanetScope). De forma complementar, o estudo busca avaliar a dinâmica do uso e cobertura da terra em dois cenários de APP: 10 metros e 30 metros a partir do eixo central das drenagens.

Metodologia

O processo metodológico foi dividido em algumas etapas, envolvendo a definição da área de estudo, aquisição de dados, processamento, classificação e avaliação do uso e ocupação da terra

considerando dois cenários de áreas de preservação permanentes (APPs): 10 metros e 30 metros a partir do eixo central dos rios. A metodologia aplicada no estudo está apresentada no fluxograma da Figura 1. Assim, as principais etapas da execução do trabalho são aprestadas nos itens subsequentes.

Figura 1: Fluxograma com as principais etapas desenvolvidas no trabalho.

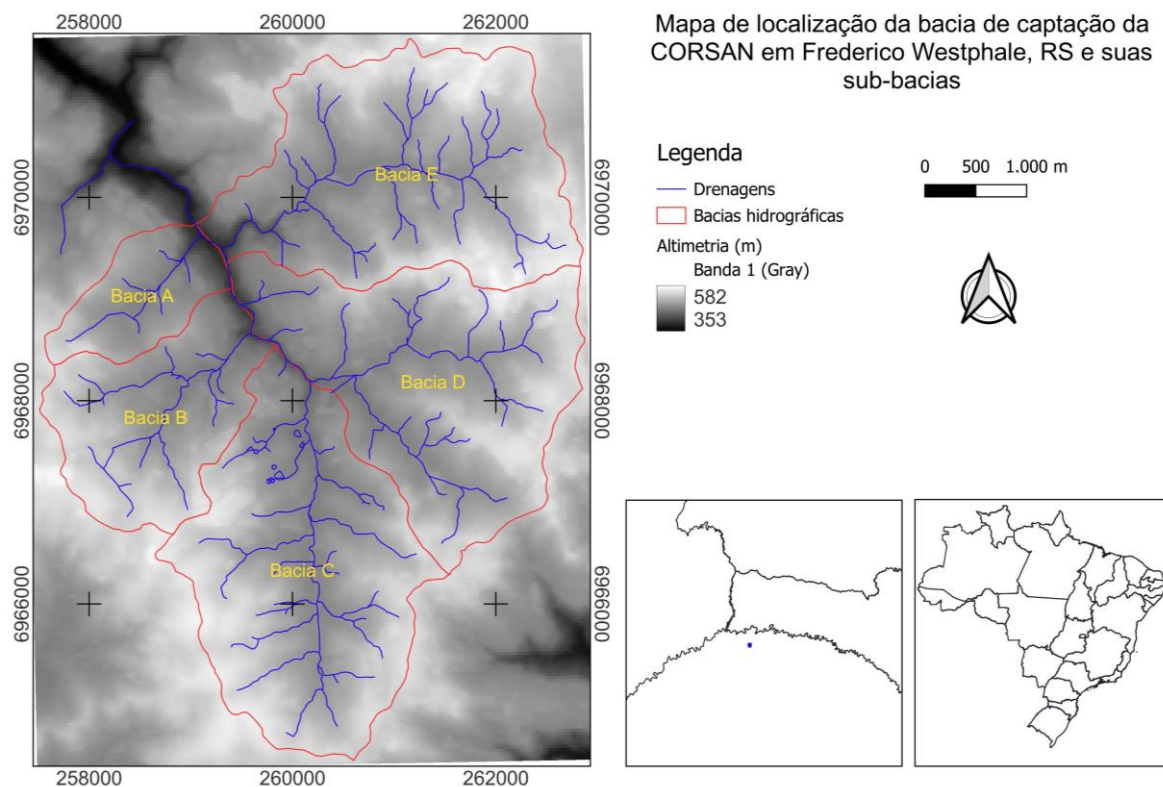


Fonte: Os autores (2025)

Definição e caracterização da área de estudo

A área de estudo é pertencente a região do médio Alto Uruguai, sendo contribuinte da bacia hidrográfica do Rio Uruguai. A região possui relevo de formas distintas, superfícies elevadas (morros), vales aplainados e ravinas onde destaca-se o litossolo vermelho, solo rico em óxido de ferro. A bacia hidrográfica em análise possui uma área de aproximadamente 4000 hectares (Figura 2), altitude média de 500 metros e o clima subtropical úmido (ALVARES *et al.*, 2013; KOTTEK *et al.*, 2007). Segundo Bernardi *et al.* (2008), a precipitação pluviométrica mantém-se na média de 1.800 e 2.100 mm/ano. Em relação à vegetação, costuma-se observar espécies arbóreas nativas, remanescentes da mata atlântica, sob formato de pequenos capões. Conforme aponta Rambo (1994), são fragmentos isolados de mata nativa, outrora exuberante, atualmente preservadas em pequenas áreas nos fundos dos vales. Citando Carvalho (2000), agricultura e a pecuária são atividades econômicas que necessitam de grandes extensões de solo, onde o impacto da desarboreização é a primeira consequência para o ambiente. Neste caso, deixando o solo exposto à lixiviação, favorecendo o carreamento erosivo laminar para rios e lagos.

Figura 2: Mapa de localização da área de estudo no noroeste/norte do Rio Grande do Sul, cobrindo parte do território dos municípios de Taquaruçu do Sul e Frederico Westphalen, RS. Malha municipal, estadual e nacional obtidas do IBGE (2021).



Fonte: Os autores (2025)

Do ponto de vista demográfico, o município apresentou uma expansão populacional nas últimas décadas (IBGE, 2023). Atualmente, a área de estudo vem experimentando forte avanço da ocupação urbana, especialmente a sub-bacia E (Figura 2). Esse resultado evidencia as tendências apontadas por Bertani *et al.* (2012), mostrando que havia uma pressão para a expansão urbana nessa direção. Assim, considerando os aspectos gerais, a bacia de captação da CORSAN de Frederico Westphalen, RS é formada por cinco sub-bacias, com distintos padrões de uso e cobertura da terra (Figura 2).

Aquisição e processamento das imagens

Nesse estudo foram utilizadas três imagens da constelação de satélites RapidEye em diferentes datas e anos e uma cena mais recente da constelação PlanetScope (PLANET TEAM, 2020) (Tabela 1). Assim, foi organizada uma pequena série temporal de imageamentos no local para capturar detalhes das mudanças do uso e cobertura da terra. Todos os dados foram adquiridos em reflectância de superfície (Planet Surface Reflectance Product). Ainda, foi realizada uma busca por imagens sem cobertura de nuvens e sombras de nuvens, de forma a reduzir os potenciais efeitos externos no processo de classificação das imagens. Cabe destacar que a resolução espacial nominal da imagem PlanetScope é de três metros, contudo, devido à alta qualidade

radiométrica das imagens Rapideye, com resolução espacial nominal de cinco metros, essa diferença não tende a afetar as classificações de forma geral.

Tabela 1: Detalhes sobre as imagens de satélite utilizadas no estudo. Todos os dados foram adquiridos em reflectância de superfície com correção geométrica aplicada.

Satélite/sensores	Data da imagem	Resolução espacial	Resolução espectral	Resolução radiométrica
Rapideye (REIS)	03-05-2009	5m	5 bandas	12 Bits
Rapideye (REIS)	27-06-2015	5m	5 bandas	12 Bits
Rapideye (REIS)	09-03-2020	5m	5 bandas	12 Bits
PlanetScope (PS)	22-03-2023	3m	8 bandas	12 Bits

Fonte: Os autores (2025)

Para a extração das drenagens e dados de topografia foram utilizados dados de cartas topográficas da DSG (DSG, 1972), com vista a obter a malha de drenagem inicial. Na sequência foram obtidos os dados o modelo *Forest And Buildings removed Copernicus DEM* na versão 1.2 (Hawker *et al.*, 2022; Jeffrey *et al.*, 2023).

Ainda, foram utilizados dados de veículos aéreos não tripulados (VANTs, popularmente conhecidos como Drones) para a área de estudo. Os dados foram capturados com os VANTs Phantom 4 e Matrice 100 com as câmeras RGB. A altura geral utilizada para os voos planejados foi de 250 metros. Esses dados basicamente foram utilizados como forma de auxiliar e validar as informações obtidas por meio dos dados de satélite.

Análise dos dados

Para realizar a classificação do uso e cobertura da terra foi utilizado o algoritmo Support Vector Machine (SVM; Vapnik *et al.*, 1995). Embora o SVM seja classificador binário, pode atuar como um classificador multiclasse, podendo obter ajustes nos pares de classes. Na literatura, encontramos algumas comprovações da eficiência desse classificador para a análise de mapeamento de uso e cobertura da terra. Segundo Jensen (2009) e Mountrakis *et al.* (2011) o SVM é um método de classificação não paramétrico, sem proposição sobre a forma de distribuição das informações e não é sensível, em princípio, a dimensionalidade dos dados (Srivastava *et al.*, 2010; Mantero *et al.*, 2005). Assim Niknejad *et al.* (2014) e Srivastava *et al.* (2010) consideram o sistema eficaz na obtenção de resultados em relação à outros classificadores de imagens. O SVM abrevia as falhas relacionadas ao conjunto das amostras, objetivando o equilíbrio entre os erros, ajustando os padrões e reduzindo o efeito de dados ruidosos nas transições de classes. O SVM tem várias vantagens sobre outros algoritmos de aprendizado de máquina, como exatidão, competência no suportar dados de alta dimensão, e sobretudo, eficácia no tratamento de relacionamentos não lineares. No entanto, o SVM

tem algumas limitações, como sensibilidade ao ajuste de parâmetros e complexidade computacional.

A metodologia do SVM foi proposta por Vapnik *et al.* (1995) foi utilizada na sua configuração padrão no aplicativo ENVI (HARRIS AEROSPACE, 2020). Assim, para a produção dos mapas foi realizado o treinamento limitado e pré-definido com amostras definidas dos mesmos locais para todos os anos. Para aumentar a qualidade das classificações foram criadas quatro grandes classes de uso e cobertura da terra: áreas agrícolas (ex. soja, milho, trigo, etc.); áreas florestais; áreas de solo exposto (solo desnudo, áreas urbanas) e; pastagens.

Para construir a base de drenagens (rios), foram utilizados dados do FABDEM, cartas topográficas, informações do modelo digital de terreno dos VANTs. Devido à dificuldade de definir a localização exata das nascentes, essas não foram consideradas para a avaliação das APPs. A digitalização ocorreu de forma manual, através da edição vetorial de linhas. Da mesma forma, os limites das sub-bacias foram extraídos dos dados conjuntos supracitados. Por fim, foram aplicadas bordaduras (buffers) de 10 e 30 metros sobre as drenagens para simular as áreas de preservação permanentes (APPs), numa perspectiva mais restritiva e outra mais ampla, respectivamente.

A análise dos resultados foi realizada com base na elaboração de mapas, tabelas e ancorada nos dados de campo. Os dados de campo ainda foram sustentados por um voo de VANT de 2018, alto detalhe, cobrindo toda bacia hidrográfica.

Resultados e Discussões

As composições coloridas falsa-cor ilustram na Figura 3 a permanência de 2009 a 2023 de um grande padrão de uso e ocupação da terra nas diferentes áreas da bacia em avaliação. Grandes maciços florestais estão presentes e tendem a se consolidar, a exemplo da floresta localizada no campus da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e do Instituto Federal Farroupilha (IFFar) e o Parque Municipal da Faguense (o Parque Arcangelo Busatto), na área central das cenas. Apesar das imagens terem sido adquiridas em datas levemente distintas, verifica-se um nítido aumento das áreas magenta (rosadas) relacionadas a forte expansão urbana de Frederico Westphalen, conforme previsto por Bertani *et al.* (2012) na sua avaliação da mancha urbana da cidade. Assim, em 2009 (Figura 3a) não é claro ainda o efeito dos loteamentos urbanos que começaram a se intensificar em 2015 (Figura 3b) nas sub bacias D e E. Nos anos de 2020 (Figura 3c) e 2023 (Figura 3d) a nitidamente a proporção de solo exposto é maior que em 2009.

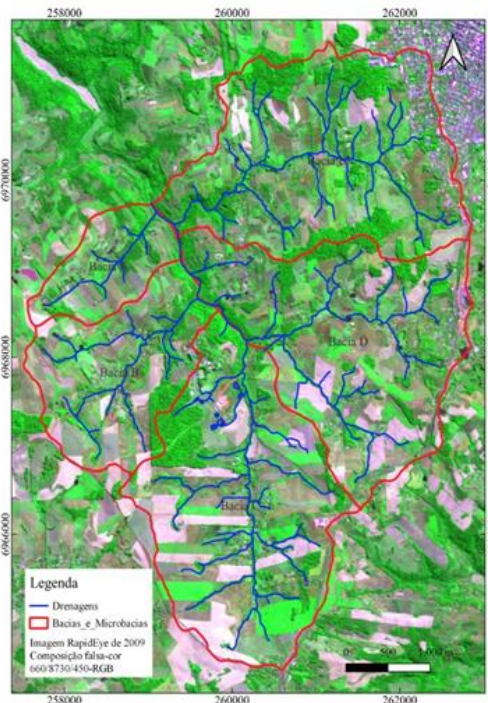
De forma a complementar a avaliação das composições coloridas e conferir suporte para a avaliação das classificações de uso e cobertura da terra, a Figura 4 mostra uma fotografia aérea capturada com uma perspectiva quase total da área de estudo, mostrando o a situação no ano de

2017. No primeiro plano a fotografia está centrada no campus da UFSM de Frederico Westphalen, RS. No campo mais profundo está localizada a mancha urbana dessa cidade. Assim, entre essas duas, percebe-se edificações e regiões de solo exposto onde ocorreu a expansão urbana (sentido bairro Faguense). Novamente, a presença dos maiores maciços florestais fica evidente na fotografia.

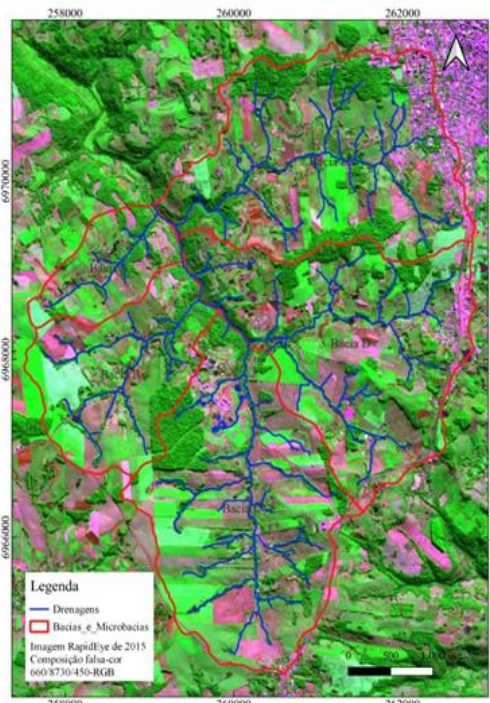
O monitoramento do uso e ocupação da terra é importantíssimo para a criação de modelos de organização do espaço. Assim, o sensoriamento remoto permite um mapeamento das condições ambientais de um determinado local (Rosa, 2007; Poggio *Et al.*, 2013; Araujo Filho *et. al.*, 2007). Portanto, esses produtos são instrumentos de planejamento eficazes e acurados para a gestão ambiental. Para tal, foi conduzida a classificação do uso e cobertura da terra para a área de estudo a partir das imagens Rapideye e PlanetScope (Figura 5). Os resultados mostram que no geral as áreas florestais forma preservadas nesses 15 anos de análise. Comparando as classificações de 2009 (Figura 5a) com a de 2023 (Figura 5d) observa-se uma leve tendência de aumento da cobertura florestal em algumas partes da área de estudo. Nas datas intermediárias (2015 – Figura 5b e 2020 – Figura 5c) essas mudanças são mais sutis

Figura 3: Composições coloridas tipo falsa-cor (RGB – 660-830-470, respectivamente) para os anos de (a) 2009, (b) 2015, (c) 2020 e (d) 2023. A imagem de 2023 foi adquirida pelo sensor PlanetScope e as demais pelo RapidEye.

(a) - 2009

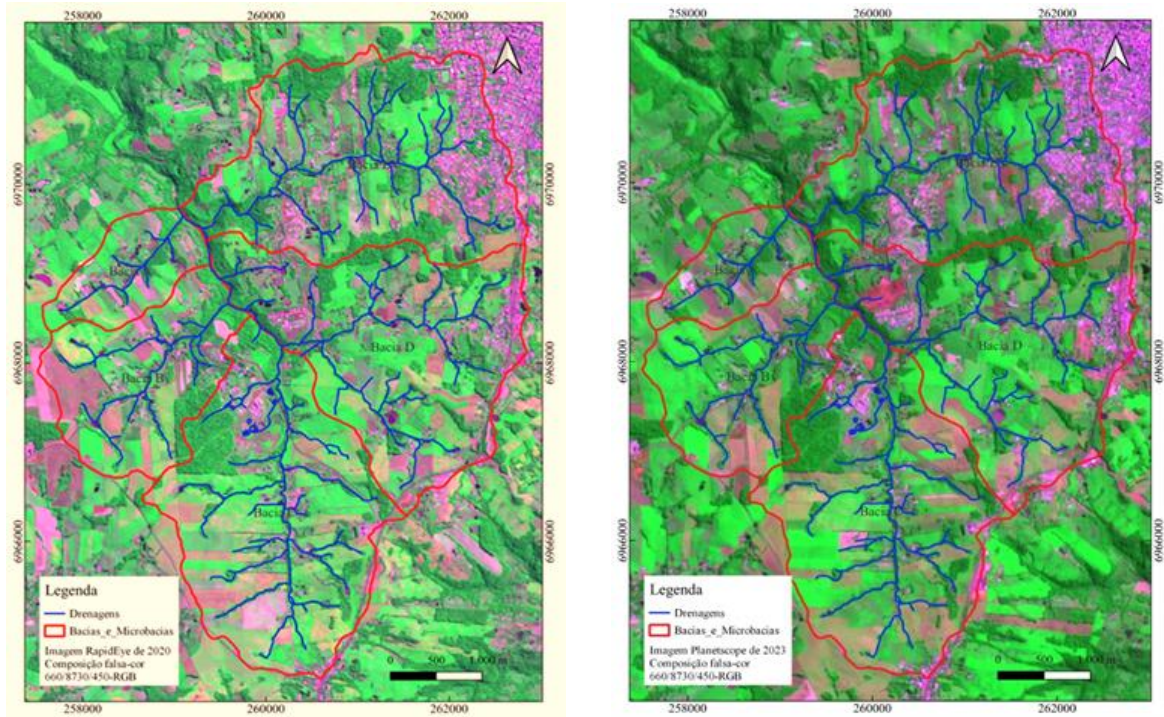


(b) - 2015



(c) - 2020

(d) - 2023



Fonte: Os autores (2025)

De forma quantitativa, observa-se na Tabela 2 que a área florestal teve um incremento ao longo dos 15 anos de análise. Para além dos resultados, as imagens utilizadas para caracterizar e quantificar o uso e cobertura da terra se mostraram adequadas para a escala de análise adotada. O uso das imagens Rapideye desde 2009 em combinação com a série de dados PlanetScope permitiu estender a série temporal de alta resolução espacial. Cabe destacar nesse ponto que novos estudos podem lançar mão de imagens de alta resolução espacial como as do satélite Ikonos e do Quickbird (como por exemplo, algumas cenas disponíveis no Google Earth/Maps©).

Os resultados mostram que as áreas de agricultura representaram quase 1000 ha de 2009 e teve um aumento para 2023 (1086,41 ha), as áreas de solo exposto apresentaram um aumento de 20% para 23%. Muito desse aumento está associado a expansão urbana tanto na sub-bacia D e especialmente a E (Figura 4). Vários empreendimentos levaram a essa expansão para o bairro Faguense em aderência com o aumento da população desse município no último censo (IBGE, 2023).

Para entender melhor os impactos as variações do uso e cobertura da terra dentro das áreas de preservação permanentes foram avaliados dois cenários: inicialmente uma APP de 10 metros a partir do eixo central do rio (Figura 5) e um segundo cenário considerando uma APP de 30 metros (Figura 6). Assim, considerando o cenário mais restritivo, de 10 metros de APP podemos verificar que os rios de maior ordem (principais) apresentam uma redução da presença de conflitos de uso de 2009 (Figura 6a) para 2023 (Figura 6b), visto que se constatou uma maior presença de florestas. Na avaliação das APPs de rios de primeira ordem, muitos efêmeros ou temporários, constata-se que

os conflitos são mais presentes, contudo, apresentam a mesma tendência. Esse padrão é verificado nas cinco sub bacias avaliadas.

Figura 4: Composição colorida RGB adquirida com perspectiva de 40° com o Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT ou Drone) a uma altura de 250 metros em 20 de junho de 2017. Foi utilizado o VANT Phantom 4.



Fonte: Breunig (2025)

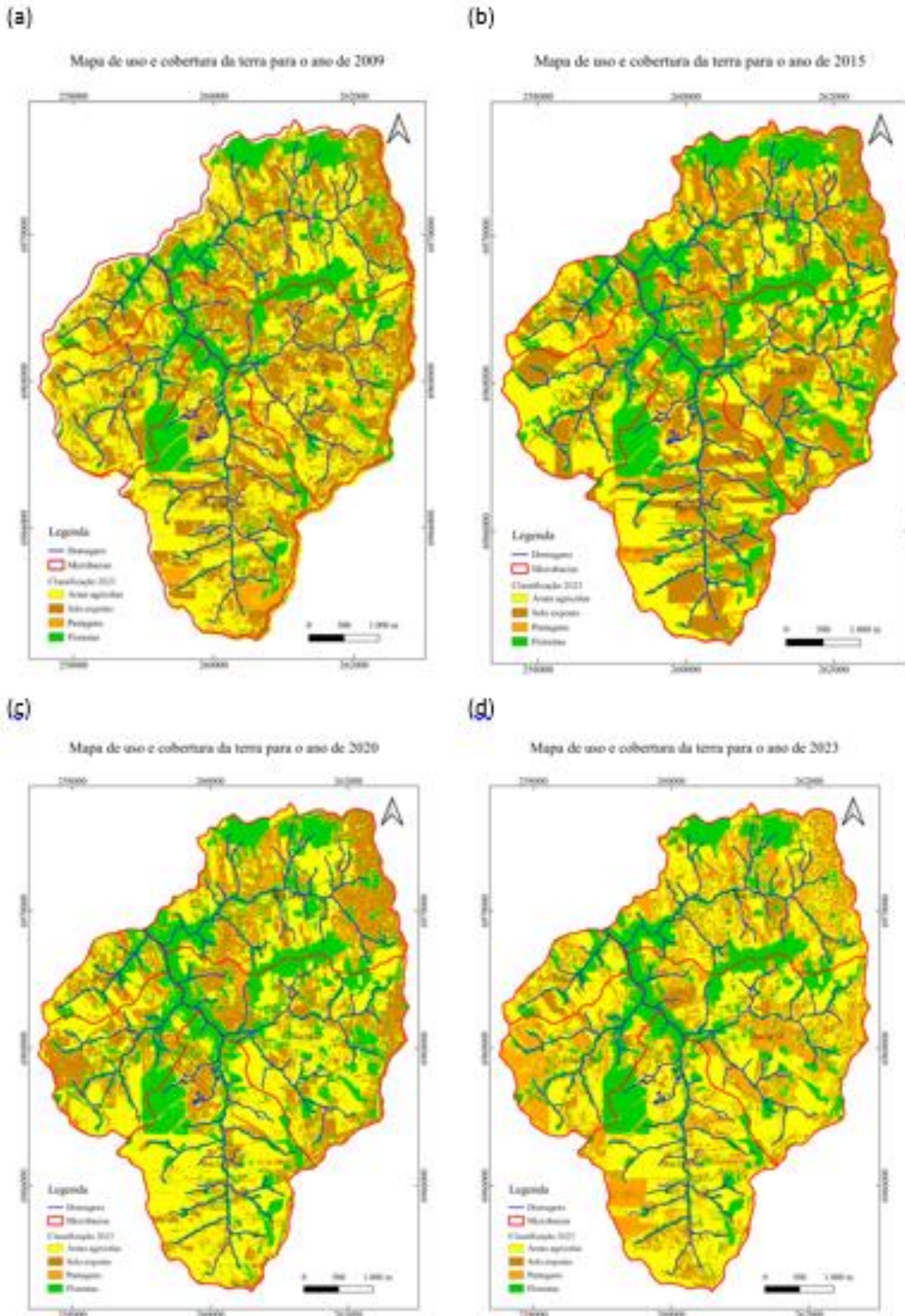
Tabela 2: Representatividade do uso e cobertura da terra extraída das classificações SVM geradas a partir das imagens Rapideye e PlanetScope.

Classe de uso	2009		2015		2020		2023	
	Hectares	%	Hectares	%	Hectares	%	Hectares	%
Agrícola	983,14	41,69	710,53	30,13	981,48	41,62	1086,41	46,07
Pastagem	248,37	10,53	449,24	19,05	249,01	10,56	178,08	7,55
Solo exposto	474,16	20,11	543,80	23,06	473,47	20,08	549,50	23,30
Florestas	652,49	27,67	654,57	27,76	654,19	27,74	544,16	23,08
Total	2358,15	100	2358,15	100	2358,15	100	2358,15	100

Fonte: Os autores (2025)

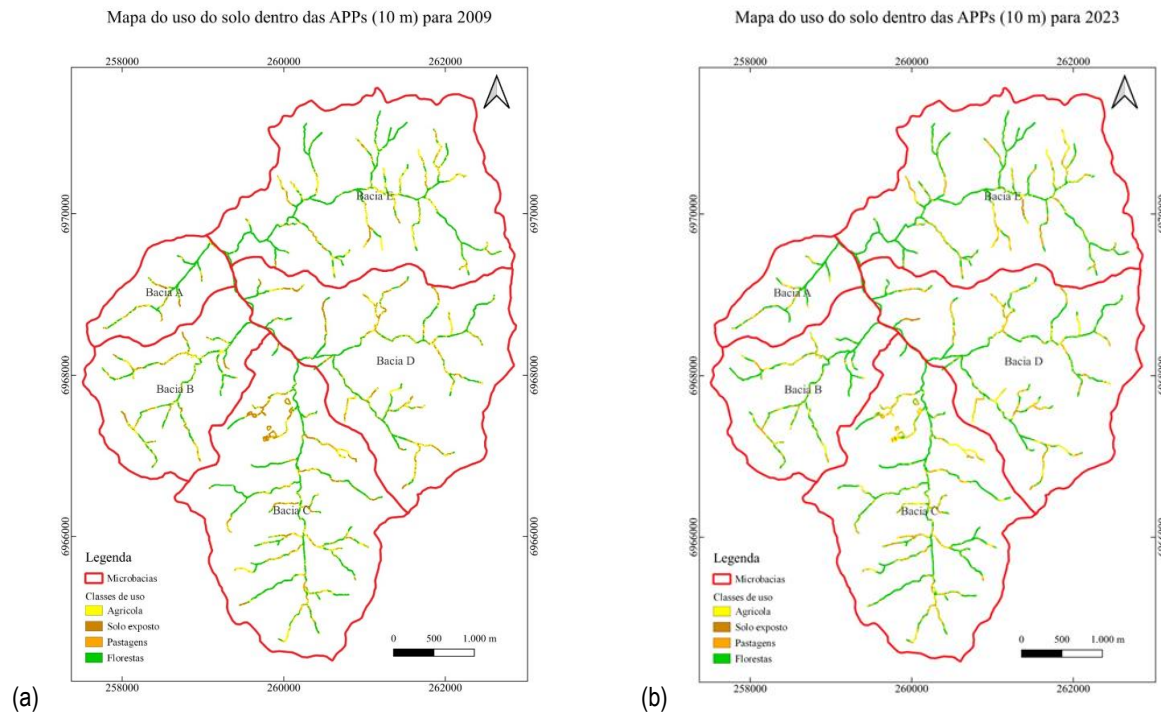
Considerando as mudanças de legislação (código florestal), o cenário de 30 metros de APP novamente mostra que de modo geral as APPs estão apresentando um incremento da cobertura florestal de 2009 (Figura 7a) para 2023 (Figura 7b). Esse resultado concorda com resultados apresentados por Rosa *et al.* (2012 e 2017) que evidenciou um aumento da cobertura florestal nas microrregiões de Frederico Westphalen em Três Passos da década de 1980 até 2010. Ainda, esse resultado corrobora com o aumento da fixação de carbono promovida pelas florestas secundárias no norte do Rio Grande do Sul (Erthal *et al.*, 2023).

Figura 4: Mapa de uso e cobertura da terra elaborado a partir da classificação supervisionada SVM das imagens RapidEye e PlanetScope para os anos de (a) 2009, (b) 2015, (c) 2020 e (d) 2023.



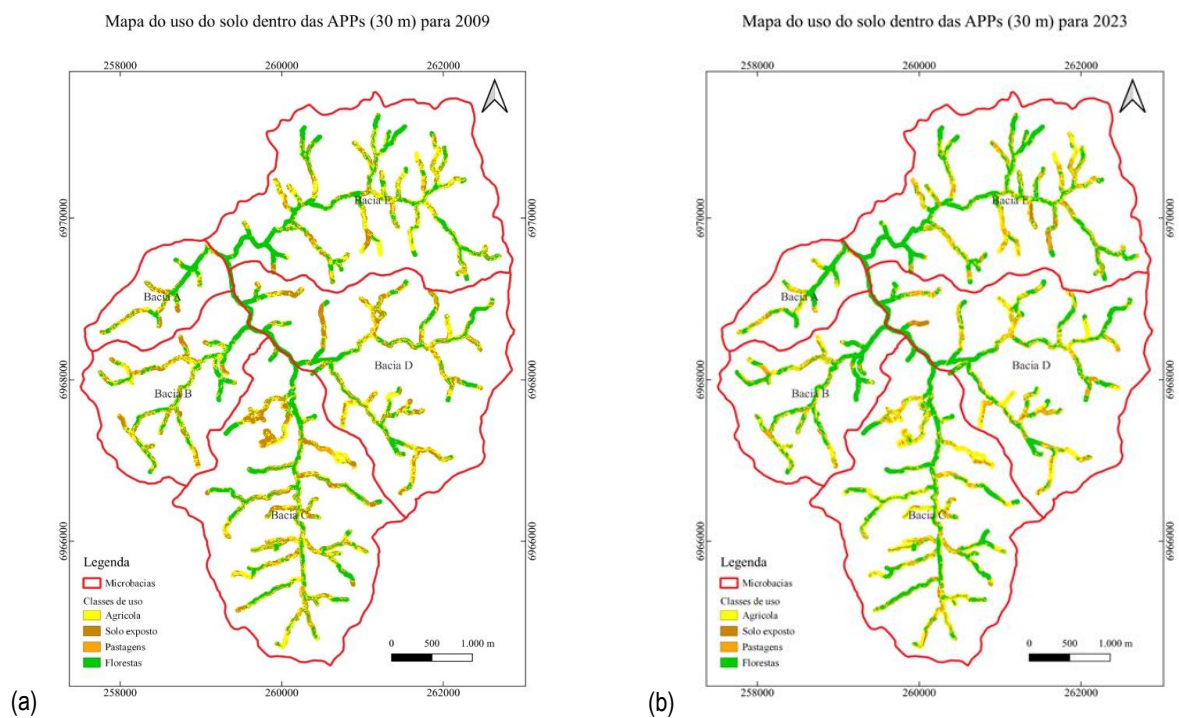
Fonte: Os autores (2025)

Figura 5: Mapa de uso e cobertura da terra nas áreas de preservação permanentes considerando uma APP de 10 metros para os anos de (a) 2009 e (b) 2023. Imagens RapidEye e PlanetScope foram utilizadas na classificação SVM.



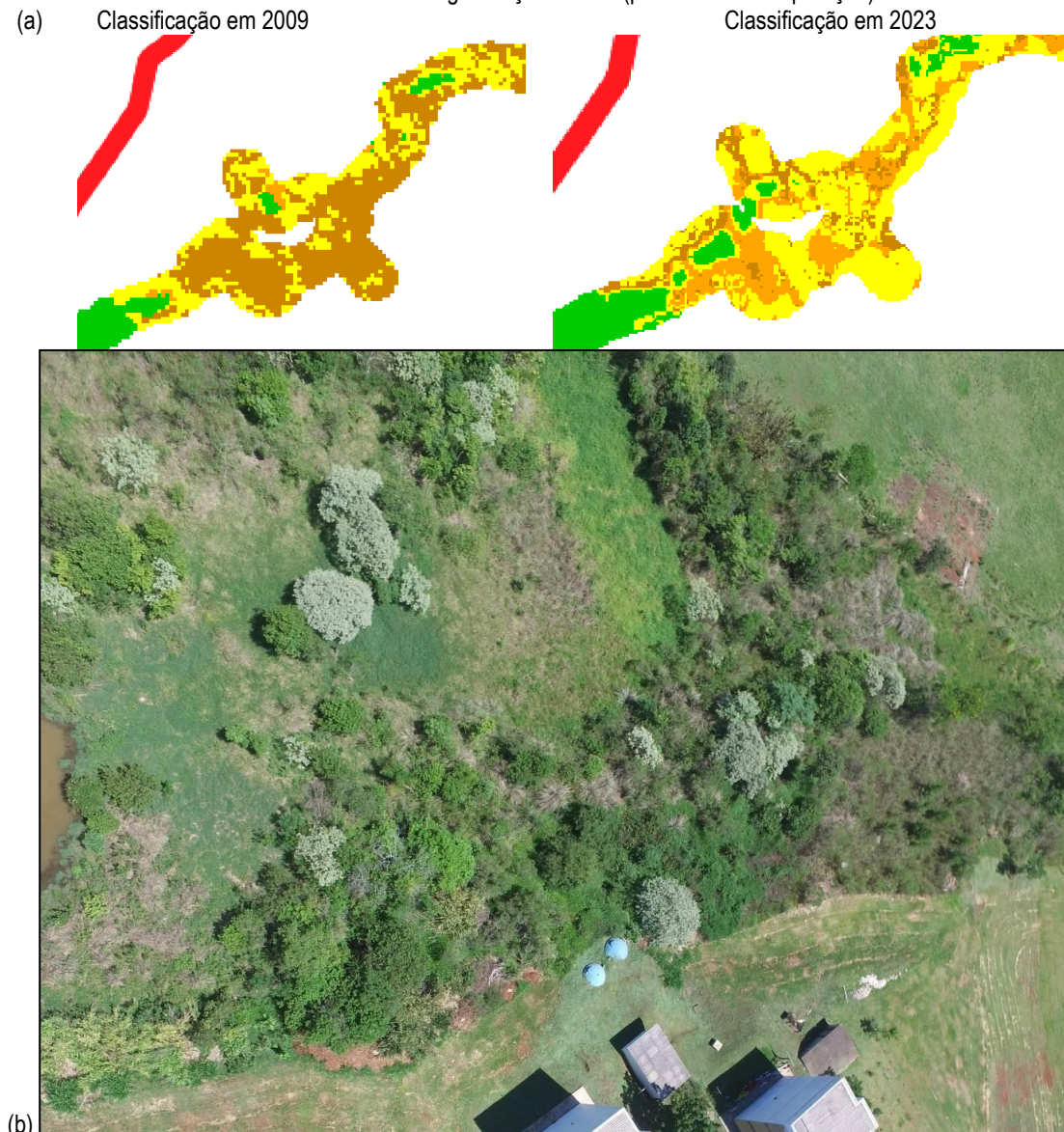
Fonte: Os autores (2025)

Figura 6: Mapa de uso e cobertura da terra nas áreas de preservação permanentes considerando uma APP de 30 metros para os anos de (a) 2009 e (b) 2023. Imagens RapidEye e PlanetScope foram utilizadas na classificação SVM.



Fonte: Os autores (2025)

Figura 7: (a) Aproximação da classificação SVM de 2009 e 2023 para uma área e (b) fotografia adquirida dia 28 de outubro de 2020 por VANT a 70 metros de altura, mostrando que o classificador apresentou pastagem e área agrícola, sendo que se trata de uma área de regeneração natural (processo de recuperação).



Fonte: Os autores (2025)

A fim de detalhar os resultados, foi elaborado um recorte (zoom in) de uma área que passou a ser preservada e está passando por um processo de regeneração natural (Figura 7). As fotografias obtidas por um VANT mostram que o mapeamento identificado pelo classificador corresponde a uma área de regeneração localizada no campus da UFSM-FW e do IFFar-FW. Isso mostra que as inspeções de campo aliadas a tecnologias como os voos de VANTs podem auxiliar de forma contundente no monitoramento de áreas de recuperação ou mesmo no monitoramento de longo prazo.

De fato, na sub-bacia C, percebe-se um aumento considerável da cobertura florestal na APP tanto de 10 metros quanto de 30 metros (Figuras 6 e 7, respectivamente). Parte desse resultado pode ser consequência da atuação conjunta de ações do ministério público, universidades (projetos de

extensão) e proprietários, no sentido de preservar e recuperar as APPs dessa bacia. Assim, fica evidente que ações dessa natureza tendem a gerar resultados em uma perspectiva temporal de décadas. Cabe destacar que essas ações permitem incrementar os estoques de carbono (Balbinot *et al.*, 2017) e mitigar os impactos das mudanças ambientais.

Quanto ao potencial das imagens, verificou-se que apesar das pequenas diferenças de resolução espacial e espectral entre os sensores, a série Rapideye e PlanetScope foi bastante eficiente para o monitoramento do uso e cobertura da terra. Contudo, novos testes com a avaliação da qualidade através de índices como acurácia global, Kappa, F1 Scope, Recall, carecem de estudos. Ademais, o teste de novos algoritmos que utilizam a aprendizagem de máquina podem qualificar os resultados quanto aos mapas de uso e cobertura da terra.

Apesar dos resultados mostrarem resultados positivos quanto a tendência de aumento da cobertura florestal nos dois cenários de APPs considerados, novos estudos devem ser conduzidos para eivar o mapa de uso e cobertura da terra de erros de classificação. Ainda, a região carece de uma modelagem de perda de solos associada a expansão urbana que tem levado um forte assoreamento da represa de captação da CORSAN de Frederico Westphalen, RS.

Conclusões

O estudo conduziu uma avaliação da dinâmica do uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica de captação de água da CORSAN de Frederico Westphalen, RS, com o uso de imagens de alta resolução espacial das constelações Rapideye e PlanetScope. Em geral, as imagens se mostraram bastante adequadas para essa abordagem, permitindo identificar as principais mudanças que ocorreram nos 15 anos de análise.

Do ponto de vista das classes de uso e cobertura, destaca-se que maior presença de solo exposto nas sub-bacias D e E, associado a expansão urbana e o aumento sutil da cobertura florestal como um todo e ainda, considerando cenários de APPs de rios para 10 metros e 30 metros. Na sub-bacia C verificou-se que ações de recuperação implantadas por volta de 2010 surtiram algum efeito na cobertura florestal nas APPs, levando a um resultado positivo. Ainda, percebe-se que essas ações demandam bastante tempo para gerar efeito significativo do ponto de vista da eliminação dos conflitos de uso e cobertura da terra e, em última análise, na qualidade e produtividade de água de uma bacia hidrográfica.

Como sugestão, colocam-se demandas por estudos que promovam a simulação das perdas de solo e impactos da expansão urbana de pequenas cidades sobre os recursos naturais (hídricos, fauna e flora). Ainda, o teste de novas tecnologias em escala de bacia, a exemplo de levantamentos com

VANTs e a exploração de ortomosaicos e modelos digitais de superfície e terreno derivados dos voos de VANTs.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) (processos n° 305914/2014-6; 408105/2018-6; 305084/2020-8; e 305452/2023-1) e Fundação de Amparo da Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) (EDITAL 04/2016 - Programa de nucleação de grupos de pesquisa) pelo apoio financeiro. A Planet Inc. pela autorização do uso das imagens PlanetScope e RapidEye para este estudo (PLAN ID: 503533). A UFSM pelo apoio para a execução do trabalho de campo e coleta de dados. Aos colaboradores que auxiliaram na coleta dos dados de campo.

Referências

- ALVARES, Clayton Alcarde *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, [s. l.], v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013. Disponível em: http://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppen_s_climate_classification_map_for_Brazil?af=crossref
- ARAÚJO FILHO, Milton da Costa; MENESES, Paulo Roberto; SANO, Edson Eyji. Sistema de classificação de uso e cobertura da Terra na análise de imagens de satélite. *Revista Brasileira de Cartografia* No 59/02, Agosto 2007.
- BALBINOT, R.; TRAUTENMÜLLER, J. W.; CARON, B. O.; *et al.* Vertical distribution of aboveground biomass in a seasonal deciduous forest. *Revista Brasileira de Ciencias Agrarias*, v. 12, n. 3, p. 361–365, 2017.
- BATISTA, Marcelo; LENARTOVICZ, Hélio Helder. Escoamento superficial e perda de solo em diferentes usos do solo no faxinal Anta Gorda - Prudentópolis (PR). *Revista Geografar*, [s. l.], v. 17, n. 2, p. 331–347, 2022.
- BERNARDI, I. P.; TEIXEIRA, E. M.; JACOMASSA, F. A. F. *Registros relevantes da avifauna do Alto Uruguai, Rio Grande do Sul, Brasil*. BIOCÊNCIAS, Porto Alegre, v. 16, n. 2, p. 134-137, jul. 2008.
- BERTANI, Gabriel; BREUNIG, Fábio Marcelo; SPOHR, Renato Beppler. Análise De Crescimento Da Mancha Urbana Do Município De Frederico Westphalen, Rs-Brasil Através De Imagens Landsat 5 Tm. *Revista Geografar*, [s. l.], v. 7, n. 1, p. 68–83, 2012. Disponível em: <http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/geografar/article/view/24092>
- CARVALHO, N. de O. *Hidrossedimentologia Prática*. Rio de Janeiro: Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais, 372p. 2000.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. *Manual de métodos e análises de solos*. Rio de Janeiro, 1979. Não paginado.
- ERTHAL, D. A. *et al.* (2023) 'Dinâmica Espacial Do Estoque De Biomassa E Carbono Em Remanescentes Florestais No Rio Grande Do Sul – Brasil', BIOFIX Scientific Journal, 8(1), pp. 1–9. Doi: 10.5380/biofix.v5i1.86271.
- GALETI, P.A. *Conservação do Solo; Reflorestamento; Clima*. 2. ed. Campinas, Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1973.
- GAMBOA, A. C.; GAIDA, W.; VOLPI, G. B.; *et al.* Microplastics in Rivers of South America: An Emerging Area of Research. *Sociedade, Natureza*, v. 37, n. 1, 2025.
- HARRIS AEROSPACE. ENVI™- *Environment for Visualizing for Images in Brasil* - Porto Alegre (Sul Soft®) HARRIS, 2020. Disponível em: www.ittvis.com
- HAWKER, Laurence *et al.* A 30 m global map of elevation with forests and buildings removed. *Environmental Research Letters*, [s. l.], v. 17, n. 2, p. 024016, 2022. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ac4d4f>
- NEAL, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Malha territorial do Brasil*. 2021. Rio de Janeiro: IBGE, 2021.

- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Censo Brasileiro de 2023*. Rio de Janeiro: IBGE, 2023
- JEFFREY Neal, UDHE Peter FABDEM. LUNTADILA, Paulo, SOSA Jeison, SAVAGE James, SAMPSON V1-2. 2023. Disponível em: <<https://data.bris.ac.uk/data/dataset/s5hqmjcdj8yo2ibzi9b4ew3sn>>. Acesso em: 2 abr. 2023.
- Jensen, J.R., 2009. Sensoriamento remoto do ambiente: *uma perspectiva em recursos terrestres*, Segunda Ed. ed. Parêntese Editora, São José dos Campos.
- KOTTEK, Markus, RUDOLF Bruno, BECK Christoph, GRIESER Jurgen. *World map of the Köppen-Geiger climate classification updated*. *Meteorologische Zeitschrift*, [s. l.], v. 15, n. 3, p. 259–263, 2006.
- KONZEN, I. S.; GAMBOA, A.; GAIDA, W.; *et al.* Impacto das atividades antrópicas e do uso da terra na qualidade da água: Uma análise em microbacias do Rio Grande do Sul, Brasil. *Hygeia - Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde*, v. 20, p. e2070, 2024.
- MANTERO, P.; MOSER, G.; SERPICO, S. B. Partially supervised classification of remote sensing images through svm-based probability density estimation. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, IEEE, v. 43, n. 3, p. 559–570, 2005.
- MOUNTRAKIS, G., Im, J., Ogole, C., 2011. *Support vector machines in remote sensing: A review*. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 66, 247–259. Doi:10.1016/j.isprsjprs.2010.11.001.
- NIKNEJAD, M., Mirzaei Zadeh, V., Heydari, M., 2014. *Comparing different classifications of satellite imagery in forest mapping (Case study: Zagros forests in Iran)*. *Int. Res. J. Appl. Basic Sci.* 8, 1407–1415.
- PLANET TEAM. Planet Application Program Interface: In Space for Life on Earth San Francisco, CA Planet Labs, 2020. Disponível em: <<https://api.planet.com>>
- POGGIO, L.; GIMONA, A.; BREWER, M.J. Regional scale mapping of soil properties and their uncertainty with a large number of.
- RAMBO, B. S. J. A fisiografia do Rio Grande do Sul: *ensaio de monografia natural*. 3. ed. São Leopoldo: ed. da Unisinos, 1994. 473 p.
- ROSA, P. A. da A., BREUNIG, F. M. and. BALBINOT, R. (2012) 'AVALIAÇÃO DA DINÂMICA DA COBERTURA FLORESTAL NO MUNICÍPIO DE TAQUARUÇU DO SUL RS', in X Seminário de Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas Aplicados à Engenharia Florestal - SenGeF. Curitiba, PR, Brasil, INPE e UFPR, pp. 1–8.
- Rosa, P. A. Da *et al.* (2017) 'AVALIAÇÃO DAS RELAÇÕES ENTRE OS PARÂMETROS DA MODELAGEM GEOMORFOLÓGICA E A COBERTURA FLORESTAL NO NOROESTE DO RIO GRANDE DO SUL / ASSESSMENT OF RELATIONS BETWEEN THE GEOMORPHOLOGICAL MODELING PARAMETERS AND THE FOREST COVER IN THE NORTHWEST OF RS', *Geo UERJ*, (31). Doi: 10.12957/geouerj.2017.19502.
- ROSA, Roberto. *Introdução ao sensoriamento remoto*. Uberlândia: Ed. UFU, 2007. 248 p.
- SRIVASTAVA, D.K., BHAMBHU, L., Cet, B., 2010. *Data classification using support vector machine*. Heart.
- VAPNIK, V.; GUYON, I.; HASTIE, T. Support vector machines. *Mach. Learn*, v. 20, n. 3, p.273–297, 1995.1