

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
*CAMPUS* FREDERICO WESTPHALEN  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
AMBIENTAL

Paulo Roberto Alves Batista

**DINÂMICA DO USO E COBERTURA DA TERRA EM BACIAS  
HIDROGRÁFICAS DE FREDERICO WESTPHALEN, RS**

Frederico Westphalen, RS

2023

Paulo Roberto Alves Batista

**DINÂMICA DO USO E COBERTURA DA TERRA EM BACIAS  
HIDROGRÁFICAS DE FREDERICO WESTPHALEN, RS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em  
Ciência e Tecnologia Ambiental, da Universidade Federal de  
Santa Maria (UFSM, RS), como requisito para obtenção do grau  
de Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Marcelo Breunig

Coorientador: Prof. Dr. Renato Beppler Spohr

Frederico Westphalen, RS

2023

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001

Batista, Paulo Roberto Alves  
DINÂMICA DO USO E COBERTURA DA TERRA EM BACIAS  
HIDROGRÁFICAS DE FREDERICO WESTPHALEN, RS / Paulo  
Roberto Alves Batista.- 2023.  
49 p.; 30 cm

Orientador: Fabio Marcelo Breunig  
Coorientador: Renato Beppler Sphor  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Campus de Frederico Westphalen, Programa de Pós  
Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, RS, 2023

1. Monitoramento Ambiental I. Breunig, Fabio Marcelo  
II. Sphor, Renato Beppler III. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor (a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

Declaro, PAULO ROBERTO ALVES BATISTA, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de dissertação foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

**Paulo Roberto Alves Batista**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria *campus* Frederico Westphalen (UFSM/FW, RS), como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental**.

Aprovada em 31 de julho de 2023

**Fábio Marcelo Breunig( UFSM  
(Presidente/Orientador)**

**Renato Beppler Spohr (UFSM)  
(Coorientador)**

**Tarcísio Samborski (IFFar-Santo Augusto)**

**Genesio Mario da Rosa (UFSM)**

Frederico Westphalen,  
RS 2023

*Dedico essa dissertação, primeiramente, à  
Jesus Cristo, minha mãe, esposa, filhos e  
irmãos. Especialmente ao meu orientador,  
pelo incentivo e apoio que precisei.*

## AGRADECIMENTOS

Inicialmente, agradeço ao onipotente Criador do Universo, por guiar-me pelos caminhos do conhecimento, por dar-me serenidade durante a jornada acadêmica. Meus familiares, especialmente à minha mãe Maria Inês, irmã Rosa Maria, irmão João Carlos pelo apoio recebido. Sobretudo, a minha esposa Jocemara, por sempre estar ao meu lado, me apoiando, auxiliando e incentivando durante a trajetória. Meus filhos Ingrid e Lorenzo, minhas desculpas, pelas ausências de algumas vezes, sempre permaneceram dentro do meu coração! Durante esse período surgiram inúmeros obstáculos, não desanimei, continuei firme nos meus propósitos!

Ao meu orientador, o professor Dr. Fábio Marcelo Breunig, por acreditar no meu sonho, não medindo esforços para auxiliar no que fosse indispensável na pesquisa e demais atividades acadêmicas. Além disso, por ser um grande amigo, um ser humano de alma boa. Serei sempre grato pelas palavras de incentivo, agradeço por todo o conhecimento advindo de ti.

Aos professores, colegas, amigos que me auxiliaram a chegar nesse momento de grande alegria. Minha eterna gratidão e carinho a todos!

À Universidade Federal de Santa Maria *campus* Frederico Westphalen – RS, sempre instigada em formar bons profissionais, proporcionando espaços para o conhecimento científico e a pesquisa, uma magnífica estrutura física, aliada à excelentes profissionais.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) (processos n° 305914/2014-6; 408105/2018-6 e; 305084/2020-8) e Fundação de Amparo à 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 Planet Scope e RapidEye para este estudo (PLAN ID: 503533).

A todos, que de alguma ou outra forma estiveram comigo durante esta caminhada, na obtenção desse título de mestre. Digo-lhes, vocês foram importantíssimos para a finalização desse estudo. Sou extremamente grato por tudo!

*“Pertencço a uma geraçõo que quis mudar o mundo, fui esmagado, derrotado, pulverizado, mas continuo sonhando que vale a pena lutar, para que as pessoas possam viver um pouco melhor, com maior senso de igualdade”.*

*José “Pepe” Mujica Cordano*

## RESUMO

### DINÂMICA DO USO E COBERTURA DA TERRA EM BACIAS HIDROGRÁFICAS DE FREDERICO WESTPHALEN, RS

AUTOR: Paulo Roberto Alves Batista

ORIENTADOR: Fábio Marcelo Breunig

O monitoramento de áreas de preservação permanentes (APP) e bacias hidrográficas é fundamental para a gestão do território 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 Planet Scope 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, 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. E estum 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 orbitais associadas à dados de VANTs se mostraram adequadas para o acompanhamento da área de estudo.

**Palavras-chave:** Imagens de Satélite. Classificações. Gestão Ambiental. Floresta. Sensoriamento remoto.

## ABSTRACT

### DYNAMICS OF LAND USE AND COVER IN WATER BASINS OF FREDERICO WESTPHALEN, RS

AUTHOR: Paulo Roberto Alves Batista

ADVISOR: Fábio Marcelo Breunig

The monitoring of permanent preservation areas (APP) and watersheds is fundamental for the management of the territory on a local, regional and national scale. Thus, the objective of this study was to evaluate the potential of using high spatial resolution data from orbital images of the constellation of PlanetScope and Rapideye satellites in mapping the impact of land use and land cover in a small watershed located in the municipality of Frederico Westphalen, used in water supply and understand its dynamics. Three Rapideye images from 2009, 2015 and 2020 and a PlanetScope from 2023 (surface reflectance), data from unmanned aerial vehicles (UAVs) and field data were used. Land use and land cover was mapped using the Support Vector Machine (SVM) classifier and with the aid of field inspections. The classes agriculture, pasture, exposed soil and forests were defined. The drainages were delimited manually and the scenario of APPs of 10 and 30 meters were evaluated in the context of the five sub-basins that make up the study area. The analysis showed a strong expansion of the urban area and the presence of exposed soil parallel to a gradual increase in forest cover in both APP scenarios, despite the reduction in the basins as a whole. In general, the maintenance of large forest masses in the study area during the 15 years of analysis was observed. Furthermore, it was evident that the actions of institutions and owners to qualify and recover APPs is a process that takes several years to show results. High spatial resolution orbital images associated to data acquired by UAVs proved to be adequate for monitoring the study area.

**Keywords:** Satellite Images. Classifications. Environmental Management. Forest. Remote Sensing.

## LISTA DE SIGLAS

ANA Agência Nacional de Águas  
APP Área de Preservação Permanente  
CAR Cadastro Ambiental Rural  
CORSAN Companhia Riograndense de Saneamento  
EMBRAPA Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
EUPS Equação Universal de Perdas de Solos  
FAO Food and Agricultural Organization  
MMA Ministério do Meio Ambiente  
MP Medida Provisória  
MDT Modelo Digital de Terreno  
MDS Modelo Digital de Superfície  
PRA Programa de Regularização Ambiental  
REIS RapidEye Earth Imaging System  
SIG Sistema de Informação Geográfica  
SFM Structure From Motion  
SR Reflectância de Superfície  
USLE Equação Universal de Perda de Solo VANT Veículo Aéreo Não  
Tripulado

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
<b>1.1 Objetivos.....</b>	<b>14</b>
<i>1.1.1 Objetivo Geral.....</i>	<i>14</i>
<i>1.1.2 Objetivos específicos.....</i>	<i>15</i>
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
<b>2.1 2.2 Monitoramento de Uso e Perda de Solos.....</b>	<b>17</b>
<b>2.3 Sistemas sensores RapidEye e PlanetScope.....</b>	<b>20</b>
<b>2.4 Monitoramento a partir de imagens RapidEye.....</b>	<b>21</b>
<b>2.5 Avaliação de bacias hidrográficas e Áreas de Preservação Permanentes (APP).....</b>	<b>23</b>
3. METODOLOGIA, RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	26
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	42
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44

## 1 INTRODUÇÃO

A degradação ambiental originada pela intensa 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 e o constante processo de urbanização muitas vezes acontecem de forma desordenada. Ou seja, sem levar em consideração os impactos ambientais locais. A exemplo, os assentamentos urbanos periféricos, muitas vezes construídos sem autorização, loteamentos ilegais ou irregulares, representam uma questão social a ser resolvida no país.

O solo é um elemento de fundamental importância para a manutenção da vida, sua preservação é importante para a produção alimentar, e principalmente, dos recursos hídricos. Sua formação ocorre através da desintegração e decomposição de rochas e vegetais, é uma ação modeladora em decorrência de processos sedimentares erosivos. Sendo composto ainda, de partículas minerais e restos orgânicos. Neste sentido, a ocupação e o manejo do solo incorretamente, geram sedimentação e processos erosivos em lagos e rios (VINSENTIN *et al.*, 2002; CASSOL & LIMA, 2003). Podendo ocasionar forte impacto sobre os ecossistemas, sendo motivo de inquietação ambiental, na esfera 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, eles auxiliam na retenção de nitrogênio (RAYMOND *et al.*, 2004; BALDANI *et al.*, 1997), e na absorção de nutrientes (MIRANSARI, 2013; CHAGNON *et al.*, 2013). Os organismos bióticos contribuem no desenvolvimento e aeração de solos. A terra é um elemento de fundamental importância para a manutenção da vida, sua preservação é importante para a produção alimentar e dos recursos hídricos. Paralelamente, quando ocorre a má utilização da terra, associado a fenômenos atmosféricos, o solo acaba sendo carregado para os reservatórios e rios, provocando problemas no ciclo hídrico e biológico (PERRANDO *et al*, 2020; BREUNIG *et al*, 2016; TUNDISI *et al*, 2007).

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, causando 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 e BRAZIER, 2008). Para mensurar e analisar a erosão de solos são necessários estudos de monitoramento ambiental em corpos d'água próximos a áreas rurais ou urbanas. 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 para estudos eficazes (TAUDIA e GOEL, 2013; JENSEN, 2009; MCMASTER e MANSON, 2010; GOODCHILD, 2009; COMMITTEE ON STRATEGIC DIRECTIONS FOR THE GEOGRAPHICAL SCIENCES IN THE NEXT DECADE – NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2010).

Conforme exposto, o aumento demográfico de cidades e de novas fronteiras agrícolas ocasionam transformações geográficas que devem ser estudadas. Neste caso, um ferramental que pode ser utilizado no monitoramento de perda de solos são os VANTs (Veículos Aéreos Não Tripulados). Também conhecidos como “Drones” possuem multirrotores e os voos podem ser programados (TORREZ-SANCHES, 2013). A bordo, esses veículos embarcam sensores multiespectrais de alta resolução espacial. Assim, a partir da geração de centenas ou milhares de dados bidimensionais é possível reconstruir a forma tridimensional de uma determinada área, geralmente com base nos algoritmos como o SFM (structure from motion) (DELLAERT *et al.* 2000). Ressalta-se que a sobreposição adequada auxilia na exatidão geométrica do terreno (WEBSTOBY *et al.*, 2012). Assim, estas imagens permitem um detalhamento espacial adequado, para modelar o uso e ocupação da terra e promover avanços na gestão operacional dessas áreas com ênfase no monitoramento da perda de solo.

Concomitante ao uso de imagens de VANTs, 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 AXEL SPACE (AXEL SPACE 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 à ciência, dado o potencial dessa integração. Entende-se que processos erosivos podem ocorrer sob múltiplas formas, pois as estruturas de atenuação ou condução laminar presentes em um local, podem ser completamente opostas à outro terreno. Isso pode ser avaliado por meio de análises físico químicas e biológicas de uma determinada área. Portanto, algumas áreas podem sofrer maior suscetibilidade de carregamento sedimentar para dentro de cursos aquosos, conseqüentemente, às bacias.

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, erosão de solos são distintas, ocorrem de diversas formas, as propriedades físicas de um local podem ser discrepantes à outro terreno. 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. Em geral, solos erosivos são microgranulares, incididos por inúmeros processos de intemperização (SHAEFFER, 1996).

## **1.1 Objetivos**

### ***1.1.1 Objetivo Geral***

O objetivo da dissertação foi analisar o 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).

### ***1.1.2 Objetivos específicos***

A). Entender a dinâmica do uso e cobertura da terra ao longo dos 15 anos de análise,

englobando cinco microbacias hidrográficas de Frederico Westphalen.

B). Analisar as implicações da expansão urbana e seus reflexos nas áreas estudadas. Verificar pontuais processos erosivos e carreamento de solos devido a ocupação da terra.

C). 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, considerando o período de 2009 a 2023.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Aplicação de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) no Sensoriamento Remoto

Os VANTs popularmente conhecidos como drones, UAVs (veículos aéreos não tripulados) ou RPAS (sigla em inglês para veículo aéreo remotamente pilotado). São ferramentas tecnológicas que podem alcançar e monitorar locais de difícil acesso (TORRES-SÁNCHEZ et al., 2013; COLOMINA e MOLINA, 2014; AASEN et al., 2015; TANG e SHAO, 2015). Com isso, esses condutores aéreos tornaram-se excelentes ferramentas de monitoramento em pequenas ou médias extensões de terreno. São capazes de capturar imagens aéreas de alta qualidade e fornecer informações precisas sobre o solo, permitindo que os cientistas e profissionais de sensoriamento remoto possam identificar facilmente problemas como pragas, doenças, erosão, fertilidade do solo e estado da vegetação.

Veículos aéreos não tripulados (VANTs) são aeronaves sem tripulação, que podem ser controlados remotamente ou operados de forma autônoma. Os VANTs são usados em aplicações comerciais, militares e recreativas. Eles são usados para entregar mercadorias, realizar vigilância, monitorar o meio ambiente, recuperar dados meteorológicos, mapear terrenos, realizar pesquisas científicas, realizar obras de engenharia e outros.

A utilização de drones é adequada a cada projeto, pois as resoluções de imagem, escalas e tipos de sensores, são escolhidos de acordo com a necessidade de cada operação (Morgan et al., 2010). As geotecnologias surgiram para auxiliar o homem nos processos de monitoramento, bem como, nos cenários futuros de uma determinada área de terra ocupada (Leite *et al.*, 2010). Neste sentido, os drones podem contribuir com imagens de alta resolução espacial e temporal, sendo na classificação de cobertura de solos (Perea *et al.*, 2010), cobertura de árvores no perímetro urbano (Lima Neto *et al.*, 2012) e na produção de mapas georreferenciados (Bryson *et al.*, 2010). Além disso, VANTs podem ser equipados com sensores de infravermelho para monitorar atividades ao longo de uma área maior, e até mesmo, para ajudar a detectar atividades suspeitas. Os drones também podem ser usados para monitorar e avaliar condições climáticas, monitorar terrenos e na execução de levantamentos topográficos. Neste caso, o uso desse ferramental tecnológico tornou-se imprescindível para pesquisas em geral (JORGE e INAMASU, 2014;

LINHARES, 2016). VANT é um conceito formal utilizado no meio acadêmico, porque faz referência a uma plataforma aérea. Conforme, (MURATTO, 2015), apontou que grande parte dos trabalhos na literatura nacional adotou essa terminologia.

Segundo Austin (2010, p.304), VANTs tiveram origem no âmbito militar, especificamente nas forças armadas nos Estados Unidos e no Reino Unido. Foi nesses países que a tecnologia teve seu estado da arte. Em concordância, (MUNARETTO 2015, p. 37), assinala que no Brasil essa tecnologia também teve seu advento no setor militar nos anos 1980. Atualmente, o número de empresas que desenvolvem e comercializam essa ferramenta cresce exponencialmente. O resultado disso é a grande variedade de modelos que são produzidos para os mais diversos fins no ramo civil.

A utilização dos veículos aéreos não tripulados para o monitoramento do meio ambiente têm se tornado cada vez mais populares. Eles permitem a captura de imagens de grandes áreas em alta resolução, tornando-os úteis para a análise de dados de sensoriamento remoto. Também são capazes de coletar dados que não são detectáveis pelo uso de satélites tradicionais, como a temperatura da superfície, por exemplo. A medição da temperatura do solo por VANTs é possível, embora não seja amplamente adotada.

Existem empresas como a Embrapa que utilizam o ferramental para medir temperaturas em espaços de interesse, como agricultura, florestas e lagoas. Esses aparelhos podem ser equipados com sensores infravermelhos para medir a temperatura da superfície, bem como outros sensores para coletar dados meteorológicos e climáticos. Sua utilização na medição de temperatura têm apontado benefícios como: acesso a áreas remotas, aumento da precisão dos dados, redução dos custos de monitoramento e maior frequência de medição. No entanto, o custo de implementação e manutenção desses sistemas ainda é alto, e ainda há muito a ser feito para aprimorar a tecnologia.

## **2.2 Monitoramento de Uso e Perda de Solos**

O monitoramento de uso e perda de solos é importante para identificar as características do solo, como textura, drenagem, matéria orgânica, toramento também é importante para identificar áreas de risco de erosão, pH, entre outras. Estas informações são importantes para entender melhor as propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos e para determinar seu uso efetivo (SANTOS, 2018). Neste caso, realizando análises pontuais em lugares que o solo foi degradado devido à ação do vento, chuva ou outros fatores ambientais. O monitoramento também pode ajudar a identificar áreas onde o uso

do solo pode ser melhorado, como a infiltração de água ou a adição de nutrientes. A monitorização de uso e perda de solos pode ser realizada por meio de amostragem de solo. O estudo desses fenômenos podem ser realizados em coletas de solos erodidos ou geoprocessamento. Neste caso, analisando dados espaciais que indiquem áreas que necessitem manejo e controle de erosão.

Para isso, foram criados modelos como a Equação Universal de Perda de Solos (EUPS), sugerida por (WISCHMEIER, SMITH,1978) quando incorporada em um Sistema de Informação geográficas (SIG), permite uma análise da perda de solo por erosão laminar, possibilitando contextualizar os resultados obtidos em função do uso e ocupação das terras. Segundo (FREIRE *et al.*,1992), os processos erosivos dependem da capacidade de infiltração da água, aliado a resistência e transporte das partículas sólidas no escoamento. As diferenças de solos, permitem que alguns sejam mais erodidos que outros, ainda que as variáveis atmosféricas e práticas de manejo sejam as mesmas (BERTONI, LOMBARDI NETO,1993). Conforme (Li; FANG,2016), os processos erosivos causam: deterioração física, perda de nutrientes (orgânicos e inorgânicos), diminuição da produtividade, deposição de partículas em canais e reservatórios e redução de áreas cultiváveis.

Salienta-se que ações antrópicas, têm acelerado esses fenômenos com grandes impactos, seja pela rapidez com que ocorre ou prejuízos que acarreta (PRUSKI, 2006). A negligência desmensurada na ocupação da terra, é fator preponderante da sedimentação erosiva na capacidade de transporte dos rios, conservação de lagos, aumentando a possibilidade de inundação e diminuindo o tempo de estruturas ripárias (SINGH; PANDA, 2017). No Brasil, estimativas apontam 500 milhões de toneladas de solo laminar sejam perdidos anualmente, em decorrência do processo de erosão hídrica acelerada (SILVA *et al.*, 2016), originando prejuízos econômicos, sociais e ambientais (DECHEN *et al.*, 2015; PANAGOS *et al.*, 2018), além de afetar negativamente a infraestrutura, a agricultura e o abastecimento de água. Uma vez que o solo é exaurido, é lenta sua recuperação.

A ocupação antrópica do solo envolve a alteração dos recursos naturais e os impactos na terra para adaptá-la às necessidades humanas ( MELO 1995). Essa alteração inclui a construção de estruturas, a criação de campos agrícolas, a extração de minerais e a exploração de recursos naturais. A ocupação leva a mudanças no ambiente, como a destruição de habitats e a degradação das águas. Com o auxílio de softwares e outras ferramentas, os VANT têm se tornado um aliado no processo de reconhecimento da

superfície terrestre e na tomada de decisão por gestores públicos e iniciativas privadas. As imagens adquiridas por estes veículos, juntamente com as informações acopladas a elas, possibilitam a geração de Modelos Digitais de Elevação (MDE), ortomosaicos e mapas de uso do solo.

No relatório de 2015 sobre o estado da conservação do solo no mundo, a Food and Agricultural Organization (FAO), apresenta que a maior parte dos solos no mundo se encontra em condições de manejo médio, ruim ou péssimo. Ou seja, o uso intensivo e desregrado na utilização da terra é um fenômeno mundial. Guerra (2005), aponta que estudos de erosão de solos são efetivados há anos, em todo mundo. Assim, várias técnicas e métodos foram desenvolvidos. As pesquisas dependem das condições físicas e ambientais, assim como a humana e financeira.

O emprego do solo envolve a alteração natural para adaptá-lo às necessidades humanas. Essa mudança inclui a construção de estruturas, criação de campos agrícolas, extração de minerais e a exploração de recursos naturais. A ocupação leva a mudanças no ambiente, como a destruição de habitats e a degradação das águas. Com o auxílio de softwares e outras ferramentas, os VANT têm se tornado um aliado no processo de reconhecimento da superfície terrestre e na tomada de decisão por gestores públicos e iniciativas privadas. As imagens adquiridas por estes veículos, juntamente com as informações acopladas a elas, possibilitam a geração de Modelos Digitais de Elevação (MDE), ortomosaicos e mapas de uso do solo.

Entende-se que, os processos erosivos são os geradores fundamentais dos sedimentos presentes nos corpos hídricos. Tornando a erosão acelerada ainda mais preocupante no quesito de impactos ambientais, pois sedimentos abundantes tornam o ambiente laminar aquático propenso ao assoreamento. Em locais que oferecem condições de alta declividade, a erosão é mais acentuada ocasionando um transporte maior de material do solo, quando somada à influência antrópica o solo pode chegar a uma velocidade de desestruturação centenas de vezes maior que em casos naturais (BRADY; WEIL, 2013). A recepção destas partículas e grãos minerais por corpos hídricos causam graves problemas conhecidos como a eutrofização por excesso de determinados nutrientes ou a intoxicação do ecossistema por elementos tóxicos.

Neste caso, o potencial erosivo de um solo depende de vários fatores, incluindo a permeabilidade, textura do solo, estrutura, a resistência à erosão, os nutrientes disponíveis, a inclinação do terreno, a quantidade de água no solo, quantidade de vegetação e a quantidade de sedimentos. A permeabilidade e a textura do solo são os fatores mais importantes para determinar o potencial erosivo. O solo com uma permeabilidade maior é menos propenso à erosão, enquanto o solo com uma textura mais fina e mais poroso é mais suscetível à erosão.

É nesta conjuntura de avaliação e quantificação de erosão que a modelagem espacial de terreno se mostra uma ferramenta extremamente útil e precisa, capaz de cumprir e analisar com clareza as complexidades de regiões densamente atingidas por erosão hídrica (POESEN, 2003; POESEN, 2011). Para reduzir e mitigar esse ação, necessita-se promover a utilização racional da terra por meio da conservação e gestão adequada das bacias hidrográficas, baseando-se em dados sobre o potencial erosivo e sua capacidade de produção de sedimentos (Pandey et al., 2007).

### **2.3 Sistemas sensores RapidEye e PlanetScope.**

No mundo, o diferencial oferecido pela RapidEye é a capacidade de produzir conjuntos de imagens de qualquer ponto do planeta. Possui órbita circular, heliossíncrona, descendente, 97,8 graus de inclinação, período de 96,70 minutos, numa altitude de 630 Km. O conjunto é composto por cinco satélites, denominados: Tachys, Mati, Trochia, Choros e Choma. Os sensores Rapid Eyes (REIS) foram instalados nos cinco instrumentos e atingem imagens do planeta em cinco faixas espectrais, sendo: O Azul (440–510 nm), Verde (520-590 nm), Vermelho (630-685 nm), Red-Edge (690-730nm), sensível a iterações do teor de clorofila das plantas e Infravermelho Próximo (760-850nm), com uma área imageada de 77,25 km. O tempo de retorno dos satélites é de 24 horas (off- nadir) e 5,5 dias (nadir). Entende-se que a resolução espacial oferecida pelo sensor é de 6,5 metros, e 5 metros nas ortoimagens (RapidEye AG 2008). O Ministério do Meio Ambiente (MMA) forneceu cobertura total do Brasil em imagens do satélite REIS. Neste caso, com assinatura de acordos de colaboração técnica com o MMA, a Embrapa e outros órgãos públicos podem utilizá-las em ações e pesquisas científicas.

A Planet Scope lançou seus primeiros microssatélites Dove em 2015. Em 2022, em torno de 240 microssatélites Planet Scope estavam orbitando o planeta, fornecendo imagens diárias da maior parte da massa terrestre. O produto de Refletância de Superfície (SR) da Planet é derivado do Produto Analítico padrão (Radiance) e é processado para a reflectância do topo da atmosfera e depois corrigido atmosféricamente para a reflectância da base da atmosfera. Este produto garante consistência em condições atmosféricas localizadas, minimizando a incerteza na resposta espectral ao longo do tempo e local. Cada satélite Planet Scope é um fator de forma CubeSat 3U (10 cm por 10 cm por 30 cm). Sendo que, a constelação de seus satélites é capaz de coletar imagens de 200 milhões de km<sup>2</sup>/dia). É importante destacar que a partir de 2022, as imagens do Planet Scope têm 8 bandas e são

dos satélites PSB.SD (SuperDoves). As imagens do Planet Scope de 8 bandas podem ser obtidas usando todas as plataformas, integrações e API do Planet. O tipo de item é PSScene.

## 2.4 Monitoramento a partir de imagens RapidEye

O RapidEye é um sistema composto por cinco satélites de sensoriamento remoto análogos sob a mesma banda orbital. A faixa de alcance na coleta de imagens é de 77 km de largura e 1500 km de extensão (RAPIDEYE, 2012). O sensor multiespectral possui cinco bandas espectrais, sendo o primeiro satélite comercial a fornecer dados na banda da borda do vermelho (*Red edge*), sendo entre 690 e 730 nm. RapidEye é uma série de satélites de sensores remotos, desenvolvidos pela empresa alemã RapidEye AG para monitoramento de grandes áreas. Os satélites oferecem imagens de alta qualidade com um campo de visão de 68°. As imagens geradas podem ser empregadas em diversos fins, tais como: monitoramento de uso da terra, monitoramento ambiental, mapeamento de recursos, etc. Neste caso, a agregação da alta resolução espacial e temporal do sensor, estimula a sua aplicação no monitoramento de áreas de cultivo agrícola (CHENG e SUSTERA, 2009; JUPOVA et al., 2009).

As técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento tornaram-se ferramentas úteis e indispensáveis para a investigação de uso e ocupação do solo, pois adequa maior agilidade no processamento e na atualização de dados com custo mínimo (VAEZA et al., 2010). Neste sentido, ambas analisam e interpretam dados, utilizando computadores para gerar informações e produtos digitais. De tal modo, que a configuração do sensor RapidEye viabiliza que os parâmetros de atitude sejam determinados com alta precisão, possibilitando a criação de ortoimagens sem o emprego de pontos de auxílio de terreno (CHENG e SUSTERA, 2009). Especificamente, imagens do RapidEye foram extremamente importantes para o Ministério do Meio Ambiente (MMA), na criação e aplicação do Cadastro Ambiental Rural - CAR (MMA, 2013). No entanto, para a efetiva utilização destas imagens são necessárias avaliações das características posicionais, e espectrais do sensor. Nas imagens RapidEye, o quantitativo é realizado em números digitais de 12-bit. Contudo, os dados são gravados em arquivos de 16-bit para serem viabilizados aos usuários. Estas imagens são abastecidas com calibração do sensor aplicada e representam a radiância ao nível de satélite em unidades de  $W/m^2/sr/\mu m$  multiplicados por 100 (RAPIDEYE, 2012). Os sensores deste instrumento medem

radiâncias nos intervalos de ondas infravermelho próximo (NIR), vermelho (R), verde (G) e azul (B). O sistema de satélites RapidEye pode captar até 4,5 milhões de km<sup>2</sup> de imagens digitais diárias, além de possuir características individualizadas que envolvem cobertura de terrenos extensos, alta resolução e imagens multiespectrais (EMBRAPA, 2014).

## **2.5 Avaliação de bacias hidrográficas e Áreas de Preservação Permanentes (APP)**

Uma bacia hidrográfica é um território geográfico definido por um conjunto de rios e seus afluentes, que deságuam em um determinado ponto, chamado de foz. A bacia hidrográfica não necessariamente tem as mesmas fronteiras que um país ou estado. Ela é definida por limites naturais, como as montanhas, vales e rios. São importantes porque auxiliam na regulação do ciclo hidrológico, que é o conjunto de fenômenos que envolvem a água. Neste caso, desde sua captação à devolução ao meio ambiente. As bacias hidrográficas acumulam e reservam água para o abastecimento de cidades e comunidades adjacentes. Assim, por definição bacia é uma área de formação natural, drenada por um curso d'água e seus afluentes, somada a uma seção transversal, onde absorve-se toda a água de uma determinada área (CRUCIANI, 1976). Segundo (BOTELHO & SILVA, 2004).

Portanto, na bacia hidrográfica é possível realizar e avaliar de forma integrada ações antrópicas sobre o ambiente e o equilíbrio hidrológico. A Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9433, de 1997), estabelece a criação de comitês e participação de organizações civis no manejo e gestão de bacias de drenagem naturais. Em tempo, os estados que compõem a federação, organizaram divisões hidrográficas para o gerenciamento, conforme critérios técnicos (ANA, 2011). Garcez e Alvarez (2002) apontam que distinções topográficas, geológicas, geomorfológicas, aliadas à cobertura da bacia, desempenham mudanças efetivas no comportamento hidrológico. Portanto, num mesmo território podem haver diferentes tipos de bacias, com acumulados hídricos diversos.

A variação entre bacias hidrográficas é que elas podem ter diferentes formas, tamanhos de afluentes e índices d'água. Isso significa que bacias fluviais podem ter diferentes características, sejam geográficas, climáticas ou hidrológicas. Algumas bacias hidrográficas são grandes, abrangendo grandes extensões territoriais, enquanto outras são

menores e incluem áreas mais restritas.

Em conformidade, visando a proteção dos recursos naturais no Brasil, existem as Áreas de Preservação Permanente (APP), ou Áreas de Reserva Legal. Inicialmente, houveram modificações e foram editadas pela Medida Provisória (MP) 2.166-67 de 2001 (BRASIL, 2001). As APPs estão ligadas diretamente às funções ambientais, são áreas naturais protegidas que foram definidas pelo Código Florestal Brasileiro (Lei nº 12651, de 25 de maio de 2012), com o objetivo de preservar os recursos naturais, tais como a biodiversidade, água, solo, energia, clima etc. Estas áreas têm como principal função manter a qualidade dos serviços ambientais, como a regulação do clima e a retenção de água, entre outros. Além disso, elas também são importantes para a conservação da biodiversidade, pois são fontes de abrigo para grande variedade de espécies. Elas ainda contribuem para o bem-estar da população, pois são importantes para a manutenção do equilíbrio dos ecossistemas, qualidade de solo, água, clima e ar.

Uma das inovações da lei foi a criação do Cadastro Ambiental Rural (CAR) e a implantação do Programa de Regularização Ambiental (PRA) nos estados e no Distrito Federal. Com o CAR, é possível ao governo federal e órgãos ambientais municipais e estaduais avaliarem não somente a localização de cada imóvel rural, mas a situação de conformidade ambiental da propriedade.

Destaca-se que, a preservação da vegetação natural nas margens dos rios e ao redor das nascentes e reservatórios, foi instituída desde 1965 (Lei nº 4771), as APPs são áreas cobertas ou não por vegetação nativa, visando a preservação dos recursos hídricos, e a biodiversidade como um todo. Neste caso, margeando rios, lagos, represas e outros. Conforme (OLIVEIRA FILHO et al., 1994), a deterioração das matas ciliares colabora para o assoreamento, aumento da turbidez da água e nos processos erosivos. Além disso, as matas ciliares são importantes para a qualidade da água, pois ajudam a filtrar e reter nutrientes e sedimentos, minimizando a poluição. Não obstante, desempenham um papel fundamental na erosão laminar, prevenindo o desmoronamento das margens de rios aumentando a resistência às cheias. Elas também oferecem abrigo e alimento para muitas espécies de fauna e flora, incluindo insetos, aves, répteis, anfíbios e peixes, proporcionando assim a manutenção da biodiversidade.

As matas ciliares em torno da rede de drenagem nas microbacias exercem importantes funções hidrológicas e ecológicas de proteção dos solos, são áreas de preservação permanente (Rodrigues, 2004). Destaca-se, que a ocupação urbana desordenada e a impermeabilização do solo excessivas, também afetam rios e córregos

que recebem a água da chuva, a falta de contenção pluvial provoca a submersão da calha. O regime hidrológico de um rio é afetado pelo uso do solo, captação de água em mananciais, barragens e mudanças climáticas (SANTOS et al., 2010). Neste caso, o solo urbano após ser revolvido por antropismo, como a escavação de valas, construção de estradas, ou a remoção de terra para a construção de edifícios, podem desestabilizar a estrutura físico química do solo. Tornando-o propenso à erosão, o que inevitavelmente, materiais erodidos serão conduzidos pela pluviosidade para lagos e rios. Por isso, a importância do manejo consciente em qualquer obra construída sobre solo urbano ou rural.

É de conhecimento geral que a expansão agrícola e o desmatamento têm repercutido sobre os recursos hídricos e na qualidade de vida das populações, necessitando de reestruturação do espaço e gestão dos recursos naturais. A preservação e conservação da floresta nativa, especialmente aquelas localizadas ao longo de cursos aquosos e nascentes, têm ocupado destaque pela importância na proteção de recursos hídricos. Assim, as APPs são um aporte eficaz na preservação e manutenção de rios, lagos, riachos e cacimbas Brasil afora.

### 3. METODOLOGIA, RESULTADOS E DISCUSSÕES

Considerando a possibilidade de organização da dissertação de forma “híbrida”, combinando uma introdução, objetivos e fundamentação teórica com um artigo mostrando os aspectos metodológicos e os resultados/discussões do trabalho, esse protocolo foi adotado. Assim, na sequência é apresentado o artigo submetido à Revista Geografar (ISSN: 1981-089X), indexado no QUALIS CAPES 2017-2020 como A4.

**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 DE LA DINÁMICA DE USO DEL SUELO Y COBERTURA EN LA CUENCA  
HIDROGRÁFICA DE LA CAPTACIÓN DE CORSAN - FREDERICO WESTPHALEN, RS CON  
IMÁGENES ESPACIALES DE ALTA RESOLUCIÓN**

**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, 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**

*The monitoring of permanent preservation areas (APPs) and watersheds is mandatory for the management of the territory on a local, regional, and national scale. Thus, the objective of this study was to evaluate the potential of using high spatial resolution data from orbital images of the constellation of PlanetScope and Rapideye satellites in mapping the impact of land use, land cover in a small watershed located in the municipality of Frederico Westphalen, used in the water supply, and understand its dynamics. Three Rapideye images from 2009, 2015, and 2020 and a PlanetScope from 2023 (all in surface reflectance), data from unmanned aerial vehicles (UAVs), and field data were used. Land use and land cover was conducted using the Support Vector Machine (SVM) classifier and field inspections. The classes agriculture, pasture, exposed soil, and forests were defined. The drainages were delimited manually and the scenario of APPs of 10 and 30 meters were evaluated in the context of the five sub-basins that make up the study area. The analysis showed a strong expansion of the urban area and the presence of exposed soil parallel to a gradual increase in forest cover in both APP scenarios, despite the decrease of forest coverage in the watershed. In general, the maintenance of large forest patches was observed in the study area during the 15 years of analysis. Furthermore, it was evident that the actions of institutions and farmers to qualify*

and recover APPs is a process that takes several years to show results. Finally, the results showed the viability to use such high spatial resolution data to monitor the study area.

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

## Resumen

*El monitoreo de las áreas de preservación permanente (APP) y 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 del uso de datos de alta resolución espacial de imágenes orbitales de la constelación de satélites PlanetScope y Rapideye en el mapeo del impacto del uso del suelo y la cobertura del suelo en una pequeña cuenca ubicada en el municipio de Frederico Westphalen, utilizados en el abastecimiento de agua y comprender su dinámica. Se utilizaron tres imágenes Rapideye de 2009, 2015 y 2020 y un PlanetScope de 2023 (todas en reflectancia superficial), datos de vehículos aéreos no tripulados (UAV) y datos de campo. El uso del suelo y la cobertura del suelo se realizaron utilizando el clasificador Support Vector Machine (SVM) e inspecciones de campo. Se definieron las clases agricultura, pastos, suelo expuesto y bosques. Los drenajes se delimitaron manualmente y se evaluó el escenario de APPs de 10 y 30 metros en el contexto de las cinco subcuencas que conforman el área de estudio. El análisis mostró una fuerte expansión del área urbana y la presencia de suelo expuesto paralelamente a un aumento gradual de la cobertura forestal en ambos escenarios 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 15 años de análisis. Además, se evidenció que el accionar de instituciones y agricultores para calificar y recuperar APPs es un proceso que lleva varios años para dar resultados. Finalmente, los resultados mostraron la viabilidad de utilizar datos de alta resolución espacial para monitorear el área de estudio.*

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

## 1 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 acaba sendo carregado para os reservatórios e rios, provocando problemas no ciclo hídrico e biológico (PERRANDO *et al.*, 2020; BREUNIG *et al.*, 2016; TUNDISI *et al.*, 2007).

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 e 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 e GOEL, 2013; JENSEN, 2009; MCMASTER e MANSON, 2010; GOODCHILD, 2009; COMMITTEE 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 e 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 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.

## **2 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.

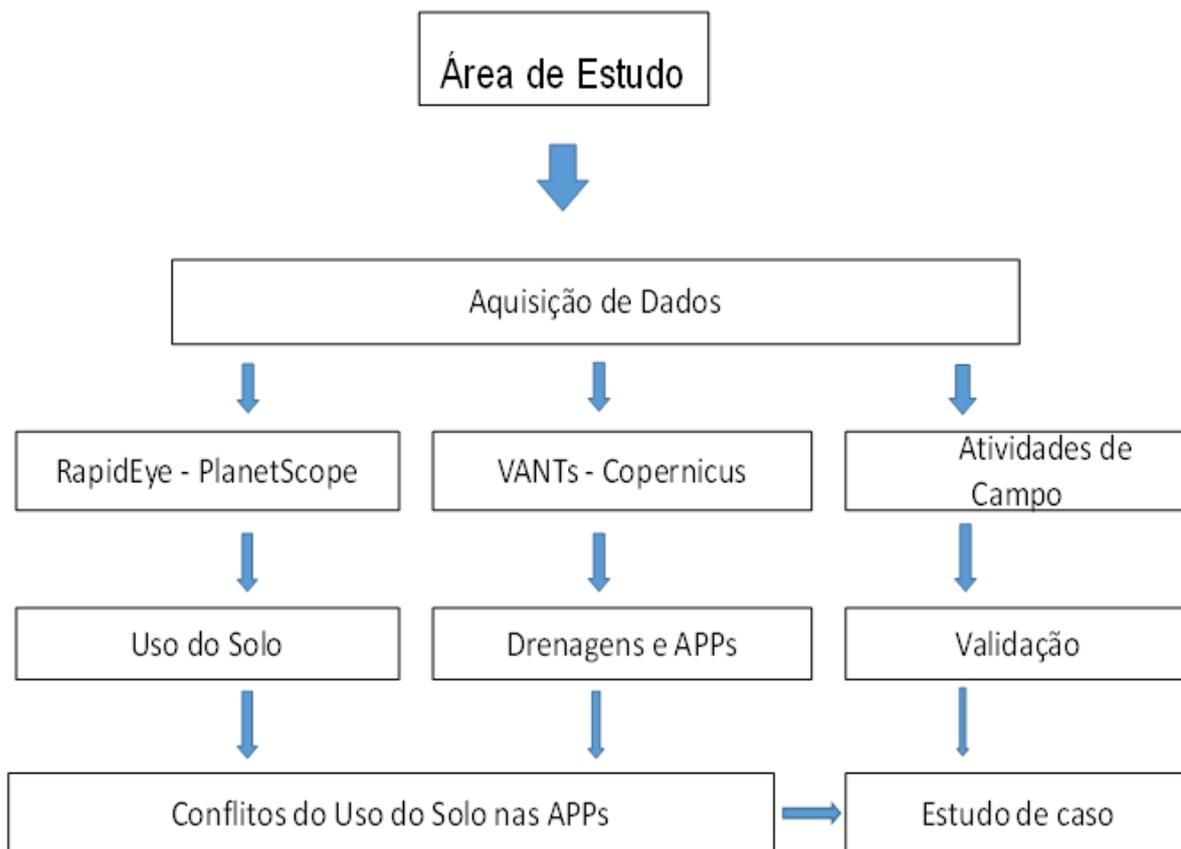
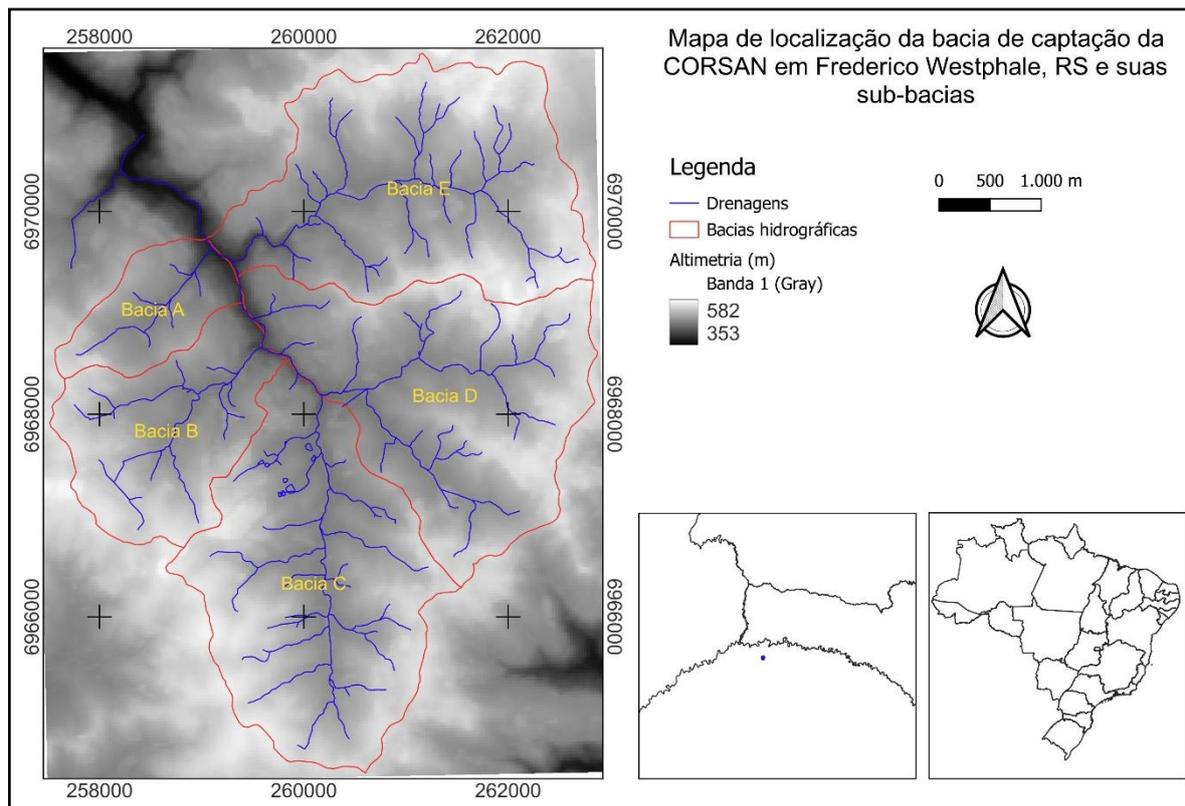


Figura 1: Fluxograma da metodologia aplicada

Fonte: Os autores (2023)

### 2.1 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 desarborização 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 (2023)

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 (Figura2). 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).

## 2.2 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 (2023)

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 do 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.

### 2.3. 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 forma sustentado por um voo de VANT de 2018, alto detalhe, cobrindo toda bacia hidrográfica.

### **3 Resultados e Discussões**

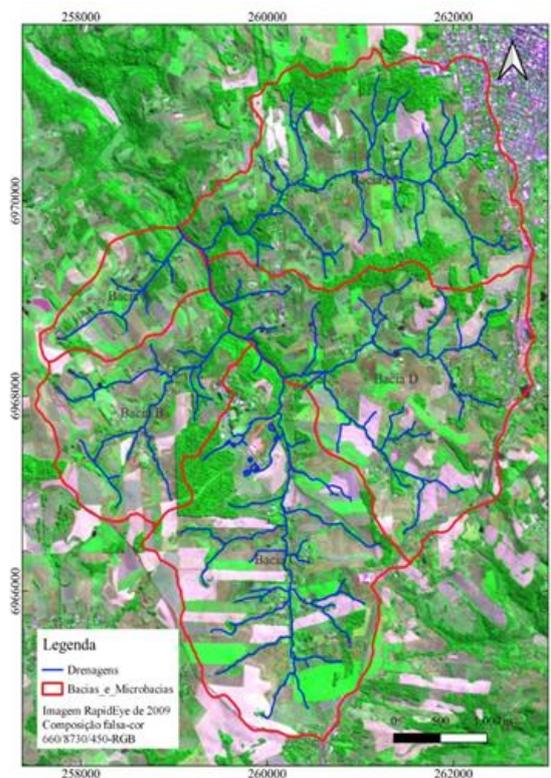
As composições coloridas falsa-cor ilustram na Figura 3 a permanência de 2009 a 2023 de um grande padrão de uso e ocupação da terra nas diferentes áreas da bacia em avaliação. Grandes maciços florestais estão presentes e tendem a se consolidar, a exemplo da floresta localizada no campus da Universidade 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

comeram 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.

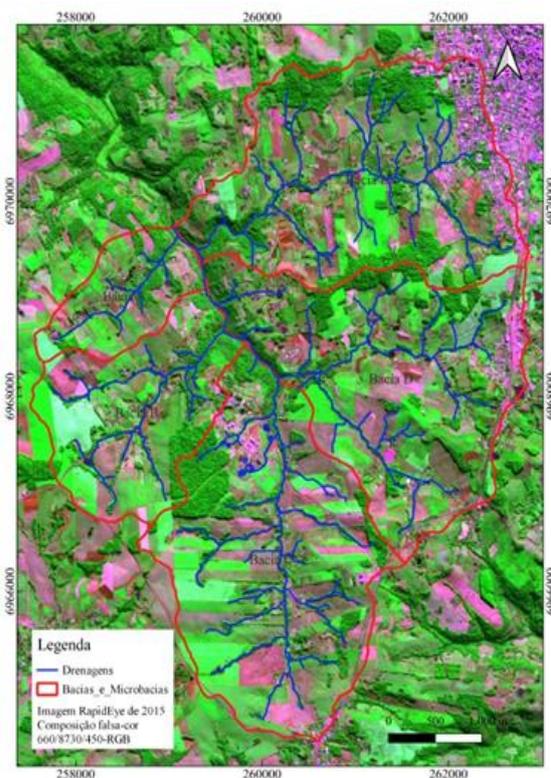
De forma a complementar a avaliação das composições coloridas e conferir suporte para a avaliação das classificações de uso e cobertura da terra, a Figura 4 mostra uma fotografia aérea capturada com uma perspectiva quase total da área de estudo, mostrando o a situação no ano de 2017. No primeiro plano 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.

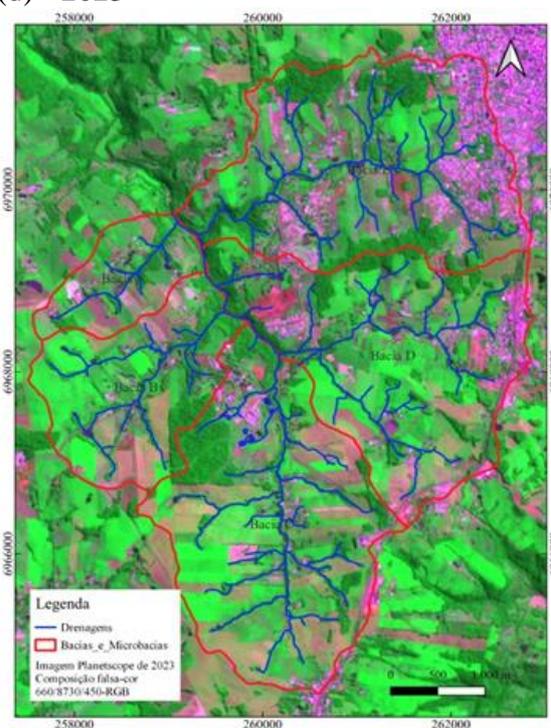
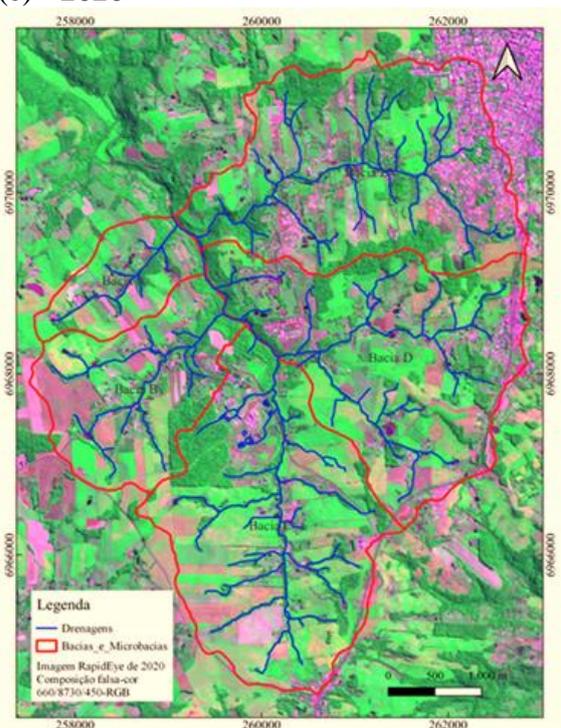
De forma quantitativa, observa-se na Tabela 2 que a área florestal teve um incremento ao longo dos 15 anos de análise. Para além dos resultados, as imagens utilizadas para caracterizar e quantificar o uso e cobertura da terra se mostraram adequadas para a escala de análise adotada. O uso das imagens 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©).



(c) - 2020



(d) - 2023



**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. Fonte: Os autores (2023)



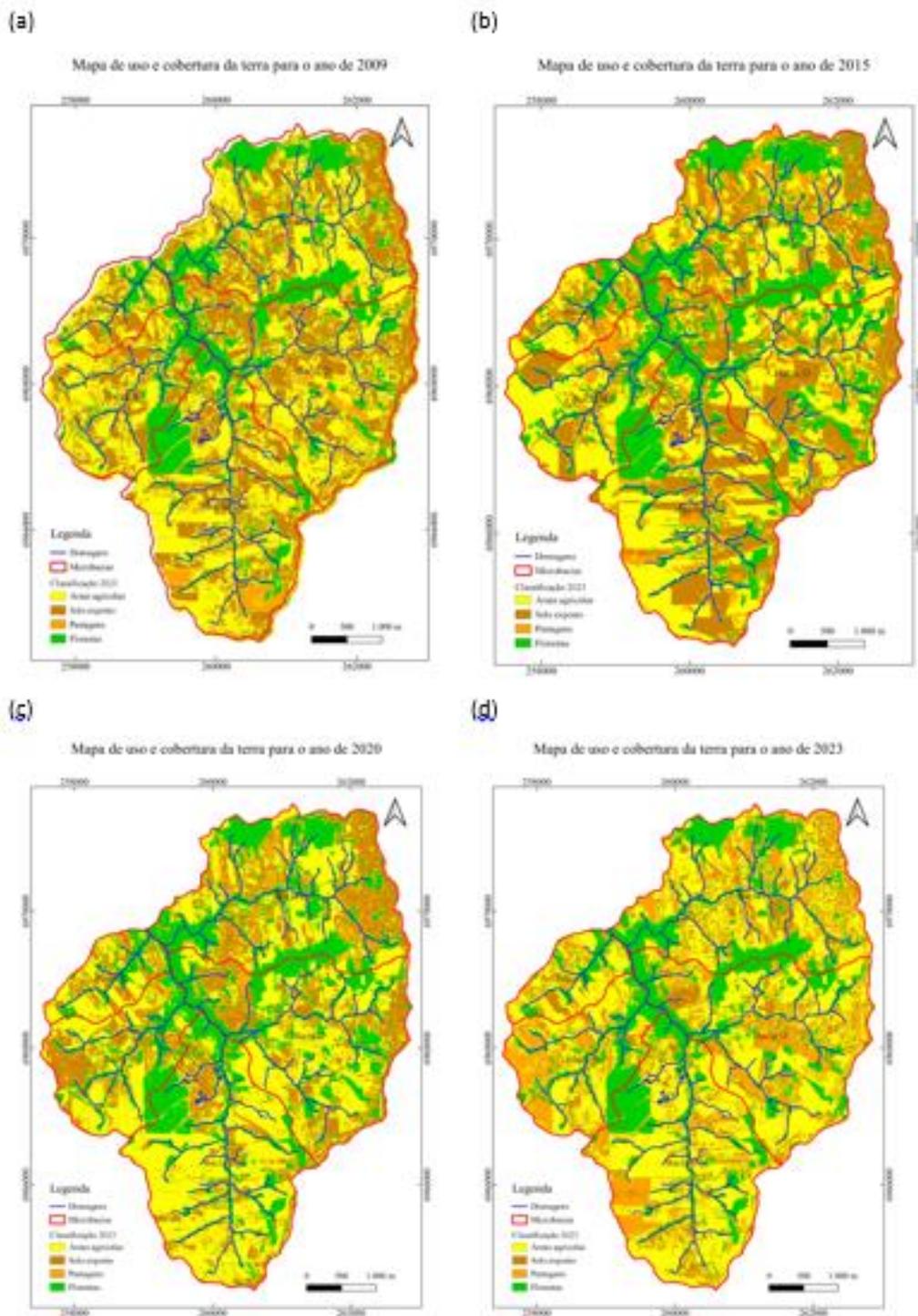
**Figura 4. Área de estudo.** Composição colorida RGB (Dado extraído de VANT), altitude de 250 metros. Data: 31 de agosto de 2023. Fonte: (Breunig 2023)

**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 (2023)

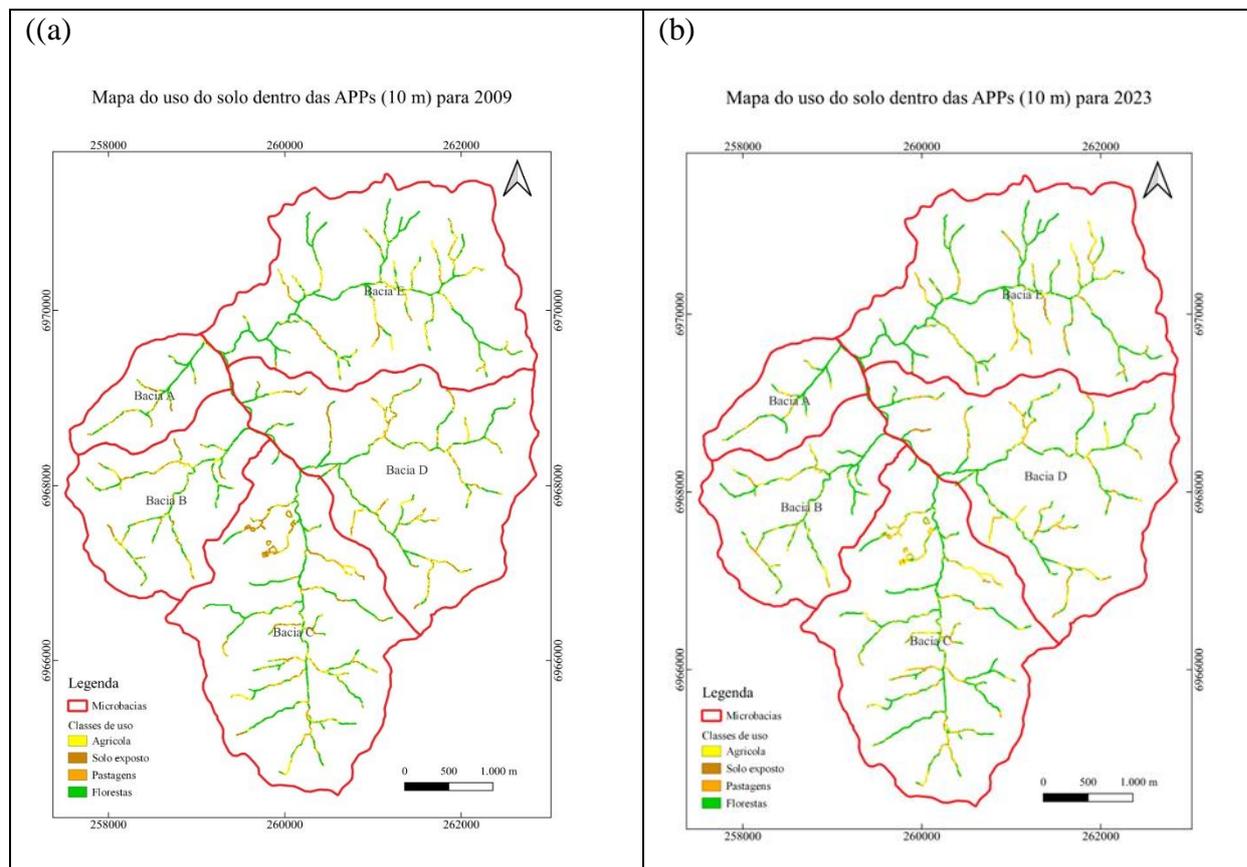
Os resultados mostram que as áreas de agricultura representou quase 1000 ha de 2009 e teve um aumento para 2023 (1086,41 ha), as áreas de solo exposto apresentaram aumento de aproximadamente 20% para 23%. Muito desse aumento está associado a expansão urbana tanto na sub-bacia D e especialmente a E (Figura 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).



**Figura 5.** 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 (2023)

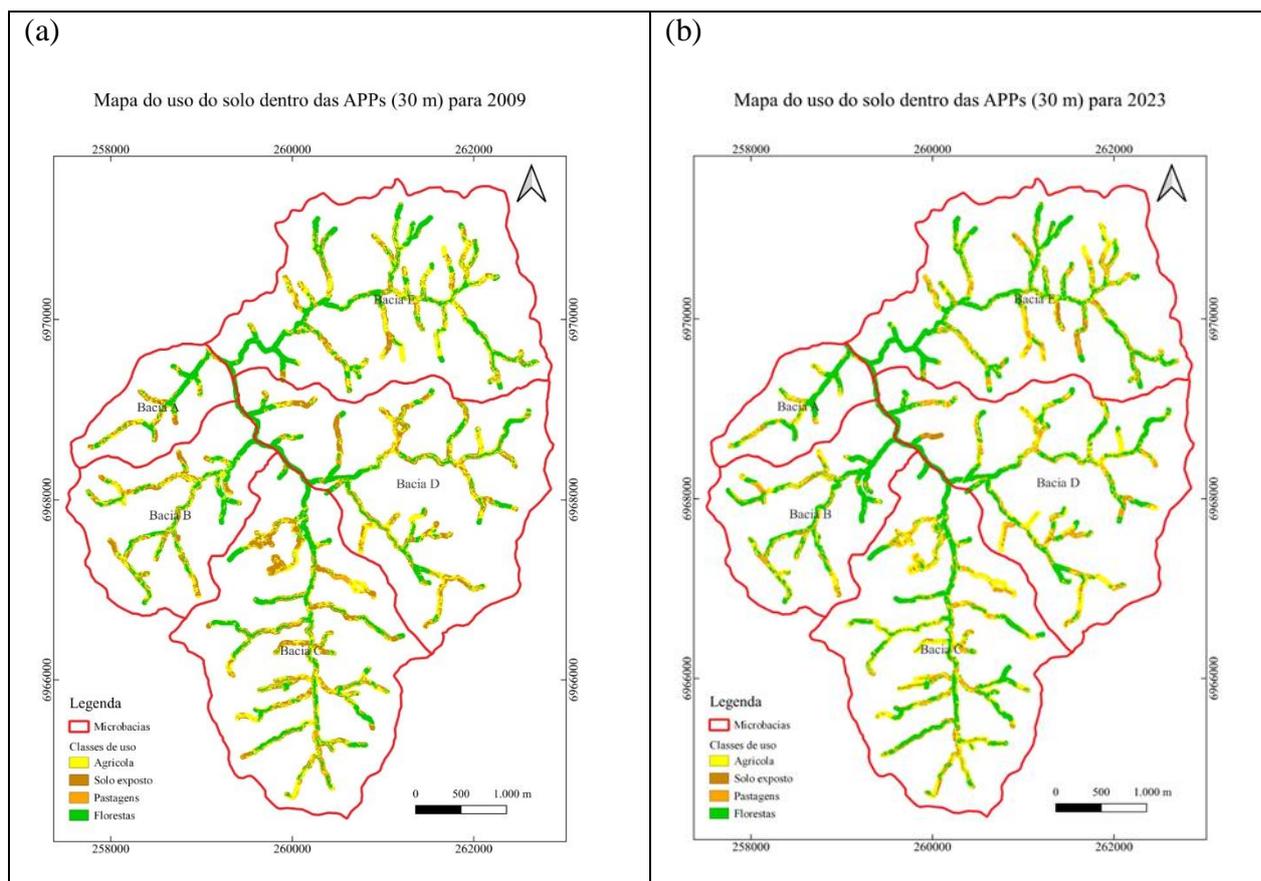
Para entender melhor os impactos as variações do uso e cobertura da terra dentro das áreas de preservação permanentes foram avaliados dois cenários: inicialmente uma APP de 10 metros a partir do eixo central do rio (Figura 5) e um segundo cenário considerando uma APP de 30 metros

(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 constatou-se 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.



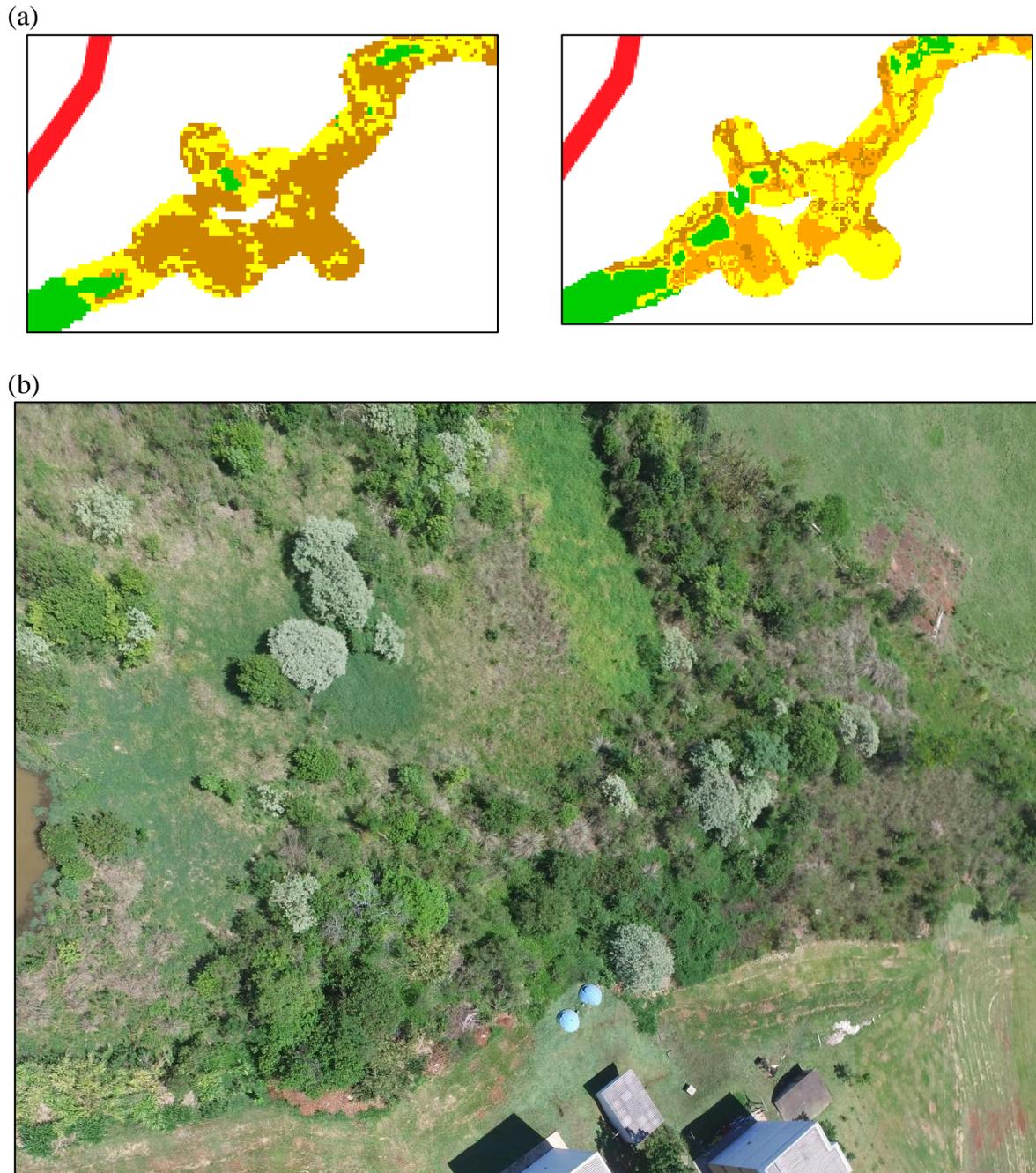
**Figura 6.** Mapa de uso e cobertura da terra nas áreas de preservação permanentes considerando uma APP de 10 metros para os anos de (a) 2009 e (b) 2023. Imagens RapidEye e PlanetScope foram utilizadas na classificação SVM. Fonte: Os autores (2023)

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 7.** 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 (2023)

Afim 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 ou 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.



**Figura 8.** (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 (2023)

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.

Quanto ao potencial das imagens, verificou-se que apesar das pequenas diferenças de resolução espacial e espectral entre os sensores, a série Rapideye e PlaneScope 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.

Apesar dos resultados serem positivos quanto a tendência de aumento da cobertura florestal, aconselha-se novos estudos. Neste caso, monitoramentos futuros, pois a expansão urbana poderá continuar em crescente aceleração, devido ao retorno de projetos de expansão urbana.

#### **4 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 da perda 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 com o ferramental.

## 5 Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) (processos n° 305914/2014-6; 408105/2018-6 e; 305084/2020-8) 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 BIBLIOGRÁFICAS

AASEN, H., BENDIG, J., BOLTEN, A., BENNERTZ, S., WILLKOMM, M., BARETH, G., 2014. Introduction and preliminary results of a calibration for full-frame hyperspectral cameras to monitor agricultural crops with UAVs. In: Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci. Vol. XL-7, 2014 ISPRS Tech. Comm. VII

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **O Comitê de Bacia Hidrográfica: o que é e o que faz?** Cadernos de capacitação em recursos hídricos, v.1, Brasília, 2011, p.19

ALVARES, C.A., J.L. STAPE, P.C. SENTELHAS, J.L.M. GONC, ALVES, 2013: Modeling monthly mean air temperature for Brazil. – Theor. Appl. Climatol. 113, 407–427.

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.

AUSTIN, R. Unmanned aircraft systems: UAVS design, development and. Unmanned aircraft systems: UAVS design, development and. Chippenham: Wiley & Sons, 2010.

BALDANI, J.I.; CARUSO, L.; BALDANI, V.L.D.; GOI, S.R.; DÖBEREINER, J. **Recent advances in BNF with non-legume plants.** *Soil Biology and Biochemistry*, v.29, p.911-922, 1997.

BOTELHO, R. G. M.; DA SILVA, A. S. Bacia hidrográfica e qualidade ambiental. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. **Reflexões sobre a geografia física no Brasil.**Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.

BARBOSA, R.I. & FEARNSIDE, P.M. 2005. **Fire frequency and area burned in the Roraima savannas of Brazilian Amazonia.** *Forest Ecology and Management* 204: 371384.

BRADY, N.C.; WEIL, R.R. Elementos da natureza e propriedades dos solos. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 790p.

BRASIL. Medida Provisória 2.166-67, de 24 de agosto de 2001. Altera os arts. 1o, 4o, 14, 16 e 44, e acresce dispositivos à Lei n. 4.771 de 1965: código florestal. Brasília, DF, 2001. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/mpv/2166-67.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/mpv/2166-67.htm)>. Acesso em: 16 mai. 2022.

BRASIL. Lei n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997 Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1997/lei-9433-8-janeiro-1997-374778norma-pl.html>>. Acesso em: 16 jul. 2023.

BRASIL, Lei Federal N° 4.771 de 1965. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/sbf2008\\_dap/\\_Legisla%C3%A7%C3%A3o/149\\_legislacao1201200904504.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/sbf2008_dap/_Legisla%C3%A7%C3%A3o/149_legislacao1201200904504.pdf)>. Acesso em: 20 de jan. de 2023.

BRYSON, M.; REID, A.; RAMOS, F. & SUKKARIEH, S. 2010. Airborne vision-based mapping and classification of large farmland environments. *Journal of Field Robotics*, 27(5): 632-655

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**. *BIOCIÊNCIAS*, 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>

BERTOL, I.; GUADAGNIN, J. C.; CASOL, P. C.; AMARAL, A. J.; BARBOSA, F. T. **Perdas de fósforo e potássio por erosão hídrica em um Inceptisol sob chuva natural**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, p.485-494, 2004.

BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo, Ícone, 1995. 355p.

BILOTTA, G.S. and BRAZIER, R.E. (2008) **Understanding the Influence of Suspended Solids on Water Quality and Aquatic Biota**. *Water Research*, 42, 2849-2861.

CARVALHO, N. de O. **Hidrossedimentologia Prática**. Rio de Janeiro: Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais, 372p. 2000.

CAPELLA SPACE. SAR Made Easy. <https://www.capellaspace.com/>. Accessed: 2022-09-16.

COLOMINA, I. and MOLINA, P. (2014) Unmanned Aerial Systems for Photogrammetry and Remote Sensing: A Review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 92, 79-97.

Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 458, de 16 de julho de 2013**. Estabelece procedimentos para o licenciamento ambiental em assentamento de reforma agrária, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=696>>.

CHAGNON, P.L., BRADLEY, R.L., MAHELARI, H. and KLIRONOMOS, J.N. (2013). A trait-based framework to understand life history of mycorrhizal fungi. *Trends Plant Sci*. 18, 484–491.

CRUCIANI, D.F. Hidrologia. Piracicaba, SP, USP/ESALQ, 1976. 134 p.

DECHEN, S, C, F.TELLES, T, S.; GUIMARÃES, M, F.; DE MARIA, I, C. Perdas e custos associados à erosão hídrica em função de taxas de cobertura do solo. *Bragantia*, Campinas, v. 74, n. 2, p.224-233, 2015.

DELLAERT,F; Seitz, S.,TORPHE, e THRUN,S . (2000). **Structure from motion without correspondence** , IEEE.Conf. on computer vision and pattern recognition.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos e análises de solos. Rio de Janeiro, 1979.** Não paginado.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA **Projeto. Terraclass 2014.** Disponível em: <[www.inpe.br/cra/projetos\\_pesquisas/terraclass2010.php](http://www.inpe.br/cra/projetos_pesquisas/terraclass2010.php)>.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/pecuária-sudeste/infraestrutura>>. Acesso em: 23.08.2023

ERTHAL, D. A. ‘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. 2018

FREIRE, E. MURPHY, K. P., SANCHEZ-RUIZ, J. M., GALISTEO, M. L. & PRIVALOV, P. L. (1992). The molecular basis of cooperativity in protein folding. Thermodynamic dissection of interdomain interactions in phosphoglycerate kinase. *Biochemistry*, 31, 250-256.

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. Hidrologia. 2.ed. São Paulo/SP: Editora Edgard Blücher, 2002.

GALETI, P.A. Conservação do Solo; **Reflorestamento; Clima.** 2. ed. Campinas, Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1973

GOODCHILD, M. F. (2009). “The Validity and Usefulness of Laws in Geographic Information Science and Geography”. *Annals of the Association of American Geographers* 94, 300– 03.

GUERRA, A. J. T. Encostas e a questão ambiental (Cap. 6). In: GUERRA, A. J. T. & CUNHA, S. B. (orgs). **A questão ambiental – diferentes abordagens.** Bertrand Brasil: Rio de Janeiro, 2003.

HARRIS AEROSPACE. ENVI <sup>TM</sup>- **Environment for Visualizing for Images in Brazil** - Porto Alegre (Sul Soft®) HARRIS, 2020. Disponível em: [www.itvis.com](http://www.itvis.com)

HAWKER L, NEAL J and BATES P 2019 Accuracy assessment of the TanDEM-X 90 digital elevation model for selected floodplain sites *Remote Sens. Environ.* 232 111319

ICEYE. Example SAR data from ICEYE. <http://www.iceye.com/downloads/datasets>. Accessed:2021-4-5.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Malha territorial do Brasil. Censo Brasileiro de 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.

JORGE, L. A. C; INAMASU, R.Y. Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em Agricultura de Precisão. **Ferramentas para a agricultura de precisão**. Embrapa Instrumentação, São Carlos. 2014.

LEITE, S. P. e WESZ Jr., V. *Modèle de développement et dynamiques foncières au Brésil: analyse de l'expansion de l'agribusiness du soja et ses effets sur le milieu rural*. Montpellier: CIRAD, 2010

LIMA NETO, E. M. L.; BIONDI, D.; ARAKI, H. Aplicação do SIG na arborização viária – unidade amostral em Curitiba - PR. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 3. 2010, Recife. Anais do... Recife: UFPE, 2012.

LINHARES, M. M. A. **Uso de veículo aéreo não tripulado na determinação de índice de vegetação em área de pastagem em Nova Mutum-MT**. 2016. 121 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) Instituto de Estudos Socioambientais, Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2016.

LI,Z; FANG, H. Impacts of climate change on water erosion: **A review.Earth** – Science Reviews. 163-117.2016

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.

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.

MANSON, J. R. Diagnostics and rubrics for assessing learning across the computational science curriculum, May 2010. **Journal of Computational Science** 1(1):55-6  
DOI:10.1016/j.jocs.2010.03.012

MELO, J. G. de. **Impacto do desenvolvimento urbano nas águas subterrâneas**. Natal - RN. 1995. 196f. Tese (Doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

MIRANSARI, M. **Soil microbes and the availability of soil nutrients**. Acta Physiologiae Plantarum, Paris, v. 35, n. 11, p. 3075-3084, 2013.

MORGAN, C.L.S., WAISER, T.H., BROWN, D.J., HALLMARK, C.T., 2009. Simulated in situ characterization of soil organic and inorganic carbon with visible near-infrared diffuse reflectance spectroscopy. *Geoderma* 151, 249–256.

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.

MUNARETTO, L. **VANT e DRONES a aeronáutica ao alcance de todos**. 2015 ed. São Paulo: Edição independente, 2015.

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.

OLIVEIRA FILHO, A.T., VILELA, E.A., GAVILANES, M.L. & CARVALHO, D.A. 1994. **Comparison of the woody flora and soils of six areas of montane semideciduous forest in southern Minas Gerais, Brazil**. *Edinburgh Journal of Botany* 51:355-389.

PANAGOS, P., BORRELI, P., MEUSBURGER, K., VAN DER ZANDEN, E.H., POESEN, J., ALEWELL, C., 2015d. Modelling the effect of support practices (P-factor) on the reduction of soil erosion by water at European Scale. *Environmental Science & Policy* 51, 23–34

PANDEY, A.; CHOWDARY, V.M.; MAL, B.C. Identification of critical erosion prone areas in the small agricultural watershed using USLE, GIS and remote sensing. *Water Resources Management*, Amsterdam, v. 21, n. 4, p. 729-746, Apr. 2007.

PEREA, J. M SANTOS, M. V. F. CASTRO. GARCIA, A., GUIM, A., & HERNANDES, M. P. (2010). Fatores que afetam o valor nutritivo das silagens de forrageiras tropicais. *Arquivos de Zootecnia*, 59(232), 25-43.

PLANET TEAM. Planet Application Program Interface: **In Space for Life on Earth San Francisco, CA Planet Labs, 2020**. Disponível em: <https://api.planet.com>

PRUSKI, F. F. (Ed.). Conservação de solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2006. 240 p. IL.

POESEN, J. (2011). Challenges in gully erosion research. *Landf. Anal.* 17, 5–9

POGGIO, L.; GIMONA, A.; BREWER, M.J. Regional scale mapping of soil properties and their uncertainty with a large number of.

RAFFESTIN, Claude. *Por uma geografia do poder*. Tradução de Maria Cecília França. São Paulo: Ática, 1993.

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.

RAPIDEYE, Satellite imagery product specifications. Disponível em: Acesso em 18 de nov. 2012.

RAYMOND, Jason; SIEFERT, Janet; CHRISTOPHER, Staples; BLANKENSHIP, Robert. **Molecular Biology and Evolution**, Volume 21, Issue 3, March 2004, Pages 541–554, <https://doi.org/10.1093/molbev/msh047>

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.

SÁNCHEZ, Luis Enrique. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. São Paulo: Oficina de Textos. Acesso em: 15 jul. 2023. , 2013

SANTOS, E. H. M.; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. C. **Relação entre uso da terra e comportamento hidrológico na Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, n. 8, 2010, 826-834 p.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAÚJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5.ed., rev.

e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p

SCHAEFER, C.E.G.R. VALE JÚNIOR, J.F. Mudanças climáticas e evolução da paisagem em Roraima: uma resenha do Cretáceo ao Recente. In: BARBOSA, R.I.; FERREIRA, E.J.G.; CASTELLÓN, E.G. Homem, ambiente e ecologia no Estado de Roraima. Manaus, INPA, p. 231-265, 1997.

SILVA, T. G. F.; PRIMO, J. T. A.; MOURA, M. S. B.; SILVA, S. M. S.; MORAIS, J. E. F.; PEREIRA, P. C.; SOUZA, C. A. A. 2015. Soil water dynamics and evapotranspiration of forage cactus clones under rainfed conditions. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.50, n.7, p.515-525.

SINGH, G.; PANDA, R.K. (2017). **Grid-cell based assessment of soil erosion potential for identification of critical erosion prone areas using USLE, GIS and remote sensing: A case study in the Kapgari watershed, India.** International Soil and Water Conservation Research.

SOBREIRA, F. G. (1998). Estudo das erosões de Cachoeira do Campo, Ouro Preto, MG. FAPEMIG. 130p.

SRIVASTAVA, D.K., BHAMBHU, L., Cet, B., 2010. **Data classification using a support vector machine.** Heart.

TANG, L.; SHAO, G. **Drone remote sensing for forestry research and practices.** Journal of Forestry Research, v. 26, n. 4, p. 791-797, 2015.

TAUDIA D, and GOEL S [2013] **Rapid environmental impact assessment using remote sensing and geographic information systems – A case study of river Ib Barrage, Odisha.** Journal of Geomatics, 7(1): 47-55.

TORRES-SANCHEZ, J., LOPEZ-GRANADOS, F., CASTRO, A. I., PENABARRAGAN, J. M. Configuration and specifications of an unmanned aerial vehicle (UAV) for early site specific weed management. PloS one, 2013.

VAPNIK, V.; GUYON, I.; HASTIE, T. **Support vector machines.** Mach. Learn, v. 20, n. 3, p.273–297, 1995.

VINSENTIN, D.; BERTOL, I.; AMARAL, A. J.; CARRAFA, M. R.; ZOLDAN Júnior, W. A. **Erosão hídrica em quatro cultivos sob chuva natural.** In: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 14, 2002, Cuiabá. Resumos Expandidos... Cuiabá: UFMT, 2002.

WESTOBY, M. J., BRASINGTON, J., GLASSER, N. F., HAMBREY, M. J., & REYNOLDS, J. M. (2012). **'Structure-from-Motion' photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications.** *Geomorphology*, 179, 300-314. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.08.021>

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. (1978) Predicting rainfall erosion losses; a guide to conservation planning. U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C. 58p.