

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
BACHARELADO EM GEOGRAFIA

NORTHON AMARAL SAMBAQUI GRUBER

Análise de Mudanças de Uso e Cobertura da Terra na Microbacia do Arroio
Pesqueiro em Viamão - RS entre os anos de 1975 e 2015.

PORTO ALEGRE - RS

2024

NORTHON AMARAL SAMBAQUI GRUBER

**Análise de Mudanças de Uso e Cobertura da Terra na Microbacia do Arroio
Pesqueiro em Viamão - RS entre os anos de 1975 e 2015.**

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Maria Luiza Correa da
Camara Rosa

Coorientadora: Ma. Mariah Xavier Rocha

Monografia apresentada como requisito parcial
à obtenção do título de Bacharel em Geografia
pela Comissão de Graduação de Geografia da
Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Aprovado em:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Clódis de Oliveira Andrades Filho
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Marcos Freitas Wellausen
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho de conclusão de curso representa o final de um ciclo, uma jornada, marcada por desafios e conquistas, e não teria sido possível sem o apoio incondicional de várias pessoas.

Primeiramente, gostaria de expressar minha profunda gratidão à minha família. Agradeço aos meus pais, que sempre acreditaram em mim e me ofereceram todo o suporte do mundo. Agradeço às minhas duas irmãs, por toda a sabedoria e destreza que me foram passadas ao longo de nossa criação juntos, que me permitiram estar aqui e agora encerrando este capítulo.

Agradeço a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), ao Instituto de Geociências (IGEO), e todo o corpo docente, responsáveis por fornecer a estrutura, o conhecimento e a vivência necessárias para que eu pudesse me tornar profissional, e agora estar me formando no ensino superior.

Aos meus amigos e amigas próximos, minha gratidão é igualmente imensa. Todos os momentos compartilhados trouxeram alegria e leveza ao longo deste percurso acadêmico. Vocês foram minha fonte de diversão e descontração, equilibrando os momentos de estresse com irmandade e parceria.

Um agradecimento especial para os meus parceiros de música, e aos amigos da banda, Punkzilla! por todo o ambiente incrível que criamos juntos. Ser músico e fazer parte de uma banda de punk hardcore é de fato uma experiência única. Desde as aventuras na estrada, os shows, os momentos de criação musical, toda a energia que é compartilhada permite que se criem laços que vão além da música, e que também deságuam aqui no final deste ciclo.

Gostaria de agradecer também aos amigos da 255 Tattoo Shop, cuja arte e profissionalismo trouxeram um impacto positivo na minha vida, proporcionando uma forma de expressão pessoal significativa, e que me traz forças para avançar em meus desafios do dia-a-dia.

Por fim, quero agradecer a todos que, de alguma forma, contribuíram para a conclusão deste trabalho. Seja através de palavras de incentivo, gestos de apoio ou simplesmente estando presentes, cada um de vocês desempenhou um papel fundamental na realização deste sonho. A todos, meu mais sincero agradecimento.

RESUMO

As bacias e microbacias hidrográficas são unidades fundamentais para o gerenciamento dos recursos hídricos e a preservação ambiental. No Brasil e no Rio Grande do Sul, a gestão dessas áreas é necessária para enfrentar os desafios das ações antrópicas e o uso insustentável de seus recursos. Com o auxílio do sensoriamento remoto, aliados ao processamento digital de imagens, foto-interpretação, e um banco de dados de Sistemas de Informações Geográficas, é possível identificar e classificar as mudanças ocorridas no ambiente. Partindo deste princípio, o presente trabalho tem a finalidade de analisar as mudanças no uso e cobertura da terra na Microbacia do Arroio Pesqueiro em Viamão - RS entre os anos de 1975 e 2015. A metodologia usada para classificação de uso e cobertura da terra foi a Análise Baseada em Objeto Geográfico (GEOBIA) a partir de fotografias aéreas históricas (1975) e imagens do satélite Sentinel-2 (2015). Essa abordagem permitiu uma análise detalhada e precisa, especialmente útil para a identificação de corpos d'água, áreas de vegetação arbórea e arbustiva, além de zonas de uso agropecuário ou com solos expostos, permitindo compreender o quanto o ambiente mudou com o passar dos anos. Os resultados mostraram que com o endurecimento das legislações ambientais ocorridas na década de 80 com a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), o desmatamento na área de estudo foi de certa forma contido, havendo regeneração das vegetações arbóreas e arbustivas. Por outro lado, a retração das áreas úmidas indica uma possível perturbação no sistema de drenagem da área de estudo, causado pelo aumento de construções de reservatórios artificiais de água.

Palavras-chave: Geoprocessamento; Sensoriamento Remoto; Processamento Digital de Imagens.

ABSTRACT

Watersheds and micro-watersheds are fundamental units for managing water resources and environmental preservation. In Brazil and in the state of Rio Grande do Sul, managing these areas is crucial to address the challenges posed by human activities and the unsustainable use of their resources. With the aid of remote sensing, digital image processing, photo-interpretation, and a Geographic Information Systems (GIS) database, it is possible to identify and classify changes in the environment. Based on this principle, the purpose of this study is to analyze land use and land cover changes in the Arroio Pesqueiro micro-watershed in Viamão - RS between 1975 and 2015. The methodology used for land use and land cover classification was Geographic Object-Based Image Analysis (GEOBIA) based on historical aerial photographs (1975) and Sentinel-2 satellite images (2015). This approach allowed for detailed and accurate analysis, particularly useful for identifying water bodies, areas of tree and shrub vegetation, as well as agro-pastoral use zones or exposed soils, enabling an understanding of how the environment has changed over the years. The results showed that with the strengthening of environmental legislation in the 1980s with the National Environmental Policy (PNMA), deforestation in the study area was somewhat contained, leading to the regeneration of tree and shrub vegetation. On the other hand, the reduction of wetland areas indicates a possible disturbance in the drainage system of the study area, caused by the increase in artificial water reservoir constructions.

Keywords: Geoprocessing; Remote Sensing; Digital Image Processing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localização da microbacia do Arroio Pesqueiro, Viamão - RS....	15
Figura 2: Espectro eletromagnético.....	18
Figura 3: Aplicação de índice NDVI na área de estudo em 2015.....	22
Figura 4: Aplicação de índice NDWI na área de estudo em 2015.....	23
Figura 5: Ortofotomosaico com delimitação da área de estudo em 1975.....	25
Figura 6: Mapa de localização da microbacia do Arroio Pesqueiro em 1975.....	25
Figura 7: A) Densidade poligonal proposta pela segmentação do <i>software eCognition Developer 64®</i> em 1975 e B) visualização em zoom da poligonação executada para os parâmetros de 1975.....	26
Figura 8: A) Densidade poligonal proposta pela segmentação do <i>software eCognition Developer 64®</i> em 2015 e B) Visualização em zoom da poligonação executada para os parâmetros de 2015.....	29
Figura 9: Mapa de uso e cobertura da terra na Microbacia do Arroio Pesqueiro em 1975.....	33
Figura 10: Mapa de uso e cobertura da terra na Microbacia do Arroio Pesqueiro em 2015.....	36
Figura 11: Mapa de representação da matriz de cruzamento entre classes.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros inseridos no algoritmo de segmentação <i>Multiresolution Segmentation</i> para imagem de 1975.....	26
Tabela 2 - Classes estabelecidas para a área de estudo em 1975.....	27
Tabela 3 - Parâmetros de segmentação da imagem em 2015.....	29
Tabela 4 - Classes estabelecidas para a área de estudo em 2015.....	30
Tabela 5 - Distribuição de área das classes de mudança de uso e cobertura da terra na microbacia do arroio pesqueiro em 1975.....	33
Tabela 6 - Distribuição de área das classes de mudança de uso e cobertura da terra na microbacia do arroio pesqueiro em 2015.....	35
Tabela 7 - Matriz de cruzamento e sobreposição de classes entre datas.....	37
Tabela 8 - Porcentagem das chaves de classificação da matriz de cruzamento.....	39
Tabela 9 - Comparativos com dados propostos por Chiarelli (2024).....	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

MUCT	Mudança de Uso e Cobertura da Terra
GEOBIA	Geographic Object-Based Image Analysis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
BHRG	Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí
ANA	Agência Nacional de Águas
APP	Área de Proteção Permanente
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NDWI	Normalized Difference Water Index
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental
SGB	Serviço Geológico do Brasil
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDS	Modelo Digital de Superfície
MDT	Modelo Digital de Terreno
GCP	Ground Control Points
MSI	Multi Spectral Instrument
PNMA	Política Nacional do Meio-Ambiente
SCP	Semi-Automatic Classification Plugin

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1 Hipótese.....	12
1.2 Objetivo Geral	12
1.3 Objetivos Específicos.....	13
1.4 Justificativa.....	13
1.5 Área de Estudo	14
1.5.1 Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí (BHRG).....	14
1.5.2 Microbacia Hidrográfica do Arroio Pesqueiro (MBAP).....	15
2. REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 Sensoriamento Remoto.....	17
2.2 Análise de Imagens Baseada em Objetos Geográficos (GEOBIA).....	19
2.3 Definição de Bacia e Microbacia Hidrográfica	20
3. METODOLOGIA	21
3.1 Composição de Banco de Dados Geoespaciais.....	21
3.2 Processamento de Imagem e GEOBIA em 1975.....	26
3.3 Processamento de Imagem e GEOBIA em 2015	28
3.4 Matriz de processamento cruzado entre datas de 1975 e 2015.....	31
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	32
4.1 Uso e Cobertura da Terra em 1975.....	32
4.2 Uso e Cobertura da Terra em 2015.....	34
4.3 Comparativo com dados referentes a 1964 e 2023.....	40
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	42
6. REFERÊNCIAS	44

1. INTRODUÇÃO

O termo Sensoriamento Remoto, introduzido em 1960 por Evelyn L. Pruitt *et al.*, desponta como uma das tecnologias mais eficazes para a aquisição indireta de dados. Desde então, essa abordagem tem sido fundamental para o mapeamento e monitoramento dos recursos terrestres em escala global (Meneses, 2012). Nesse contexto, a aplicação de sensores para capturar informações sobre alvos, sem a necessidade de contato direto, tornou-se amplamente utilizada pelas geociências, estendendo-se no âmbito do planejamento espacial, tanto em áreas rurais quanto urbanas. Dessa forma, abriu-se condições para mapear e analisar as transformações territoriais nas mais diversas escalas.

Em Viamão - RS, muitas são as áreas conflitantes onde urge-se a necessidade de análise de seus usos e ocupações para que possam ser traçados planos de manejo e gestão territorial. Portanto, é de suma importância considerar as interações entre o ambiente e a sociedade em qualquer planejamento territorial, especialmente inseridos em contextos de bacias hidrográficas. Analisar essas relações é fundamental para um planejamento eficaz e sustentável.

As bacias hidrográficas atuam como unidades fundamentais do ciclo hidrológico, e participam da regulação do fluxo de água e na manutenção dos ecossistemas aquáticos e terrestres, garantindo também o bem-estar das comunidades locais que delas dependem. A análise de microbacias permite enxergar, em detalhe, os mais variados componentes do sistema hidrológico, onde impactos ambientais podem gerar perdas em níveis de recarga e no volume de água à jusante, já que seus pequenos riachos somam-se a outros rios, formando redes hídricas de maior porte. (Sant'Ana *et al.*, 2021).

Partindo deste fato, a área de estudo escolhida para a realização do presente trabalho é a Microbacia Hidrográfica do Arroio Pesqueiro (MBAP), que se encontra no extremo sul da Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí (BHRG). A história desta microbacia é marcada por uma série de eventos que influenciaram significativamente sua dinâmica socioambiental. Durante as décadas de 60 e 70, a instalação de diversas pedreiras de granito (tipo de mineração a céu aberto para a extração de rochas) na região resultou em um período de intensa atividade extrativista, atraindo trabalhadores de outras localidades. Tais processos acabaram

por mudar bastante a dinâmica da paisagem que sofreu por conta do impacto antropológico na região.

A mineração, conhecida por seu alto consumo de água, muitas vezes é realizada de maneira predatória e não respeita as leis vigentes. Segundo dados da Agência Nacional de Águas (ANA), cerca de 70% das atividades mineradoras não notificam os órgãos estatais sobre a origem da água utilizada, agravando a situação devido à ausência de fiscalização (Chiarelli, 2024).

Foi durante a década de 1980 que as leis ambientais no Brasil passaram por um processo de fortalecimento significativo. Com a implementação da Política Nacional do Meio-Ambiente (PNMA) (Lei no 6.938/81) visando a proteção e preservação dos recursos naturais do país, surgiu também a pressão social contra a atividade extrativista, e por consequência disto encerrou-se a mineração nas pedreiras. Isso desencadeou um efeito dominó, resultando no abandono de um ambiente já degradado, necessitando manejo e gestão para não se inclinar a tendências como o aumento do desmatamento, e no surgimento de problemas sociais. Trabalhadores que migraram para a região em busca de emprego acabaram desamparados, resultando em complexas e delicadas relações entre atividades econômicas, uso e cobertura da terra e questões sociais.

Na área de estudo, também observa-se a introdução de atividades agropecuárias e de silvicultura, que não são nativas do bioma pampa. Essas práticas incluem o uso de espécies de capim destinadas ao pastoreio e o reflorestamento com pinus e eucaliptos, que se comportam como invasoras no ecossistema local.

Atualmente, a comunidade local do Beco do Pesqueiro, se encontra preocupada com uma proposta em curso para a instalação de um aterro sanitário próximo da região. Em resposta a isso, surgiu o "Movimento Não ao Aterro, Não ao Lixão", uma iniciativa que deu origem a um projeto de extensão da universidade que está em andamento. Este projeto colabora ativamente na condução de um diagnóstico destinado a identificar os possíveis riscos associados à instalação do aterro sanitário.

Segundo Schwarzer (2023), o empreendimento visa destinar resíduos sólidos de até vinte e oito municípios (Câmara Municipal de Viamão, 2021). As alternativas locais para o aterro incluem áreas próximas a oito nascentes, comunidades indígenas e quilombolas, áreas de conservação e sistemas aquíferos utilizados para

abastecimento domiciliar, contrariando a conservação da integridade ambiental estipulada pela Lei Municipal nº 4178/2013 (art. 1º, item III) e pelo Plano Diretor de Viamão.

Esta questão é uma das motivações que têm repercutido no desenvolvimento de estudos com a finalidade de compreender tanto os aspectos físicos quanto sociais da região (Collischonn & Rosa, 2020; Rosa et al., 2021; Schwarzer et al., 2022; Collischonn et al., 2022; Collischonn et al., 2023; Schwarzer, 2023; Chiarelli, 2024). A presente monografia representa mais uma contribuição neste contexto.

1.1 Hipótese

A integridade ambiental de uma bacia hidrográfica é amplamente influenciada pelo seu uso e ocupação. Essa questão torna-se ainda mais sensível quando se trata de uma microbacia hidrográfica. No caso da Microbacia do Arroio Pesqueiro, ao longo de décadas, houveram mudanças em seu uso e cobertura que nos permitem investigar seu comportamento perante as pressões antrópicas e a degradação ambiental ocorridas.

Com isto posto, levanta-se a hipótese de que com o endurecimento das legislações ambientais que ocorreram na década de 80 com a implementação da Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) (Lei no 6.938/81), o desmatamento na região foi de certa forma contido, havendo regeneração da cobertura vegetal na área de estudo com o passar das décadas.

1.2 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como principal objetivo a análise de imagens aéreas e a utilização de dados geoespaciais para interpretar a Mudança de Uso e Cobertura da Terra (MUCT) ocorridos na Microbacia do Arroio Pesqueiro em Viamão - RS nos anos de 1975 e 2015. A realização de uma análise em diferentes anos permitirá visualizar os índices de cada classe levantada.

1.3 Objetivos Específicos

- Gerar um ortofotomosaico georreferenciado a partir das fotografias aéreas históricas de 1975 e comparar com a imagem de satélite Sentinel-2 de 2015.
- Classificar uso e cobertura da terra para as imagens a partir da técnica GEOBIA para determinar as mudanças de uso e cobertura da terra.
- Identificar a variação das manchas de vegetação da Microbacia do Arroio Pesqueiro para discutir as transições de uso e cobertura da terra e as transformações da área de estudo.

1.4 Justificativa

A proposta deste trabalho visa contribuir para os estudos ambientais da região, enfatizando a importância da conservação e preservação da Microbacia do Arroio Pesqueiro. O mesmo trata-se de uma continuidade de um estudo já iniciado (Chiarelli, 2024) que visa compreender em detalhe os processos de transformação de uso e cobertura da Microbacia do Arroio Pesqueiro e o envoltório de suas Áreas de Proteção Permanentes (APPs), servindo como recurso para auxiliar no plano de recuperação da Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí proposto pela gestão pública.

Além de reforçar o embasamento científico em favor à comunidade local, que está ameaçada pela proposta de um empreendimento desde 2018, que pretende instalar um aterro sanitário na Fazenda Montes Verdes, na localidade de Cantagalo, no bairro Passo da Areia, em Viamão - RS.

1.5 Área de Estudo

1.5.1 Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí (BHRG)

Localizada na Região Nordeste do Rio Grande do Sul e compreendendo uma área de 2020km², a Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí (BHRG) possui sua delimitação entre a bacia do Rio dos Sinos e a Bacia do Lago Guaíba. Responsável por fornecer recursos hídricos para pelo menos nove municípios presentes em seu envoltório, incluindo certos setores densamente urbanos de Porto Alegre, a BHRG fornece abastecimento para cerca de 1.255.730 habitantes distribuídos nestes municípios, sendo o Rio Gravataí o principal rio que compõe a bacia hidrográfica que leva seu nome (GUASSELLI *et al.*, 2018).

Segundo Rubbo (2004), a hidrografia do Rio Gravataí é peculiar e complexa. Não há afluentes significativos e seu sistema de abastecimento funciona basicamente através das vertentes e dos riachos formados pelas chuvas. O mesmo apresenta índices alarmantes no que se refere à qualidade de sua água, onde, em 2012, o IBGE o classificou como o 5º rio mais poluído do país. Com isto posto, Etchelar *et al.*, (2014) salienta:

“Assim, o crescimento urbano desordenado dos municípios de Gravataí, Canoas, Cachoeirinha, Alvorada e Porto Alegre contribuem de forma direta neste processo de degradação e transformação da planície de inundação do rio. Porém, as modificações que nelas têm ocorrido comprometem suas funções, provocando consequências que afetam tanto os ecossistemas como as atividades humanas ali existentes.” (ETCHELAR *et al.*, 2014. p.385-387).

No que se diz respeito à questão climática da BHRG, Rossato (2011, p.197) configura a região como clima Subtropical III, com índices pluviométricos que alcançam anualmente cerca de 1700-1800 mm em 100-120 dias. As temperaturas variam entre 11-14°C no mês mais frio, e 23 a 26°C no mês mais quente, podendo em cenários específicos alcançar até 32°C (Rossato, 2011, p.198).

Em termos de vegetação, segundo Etchelar (2017), trata-se de banhados e mata de restinga. Teixeira *et al.*, (1986) aponta a cobertura vegetal das áreas de banhado como campos úmidos, compostos por macrófitas aquáticas e espécies herbáceas de pequeno porte. Já as matas de restinga são caracterizadas por

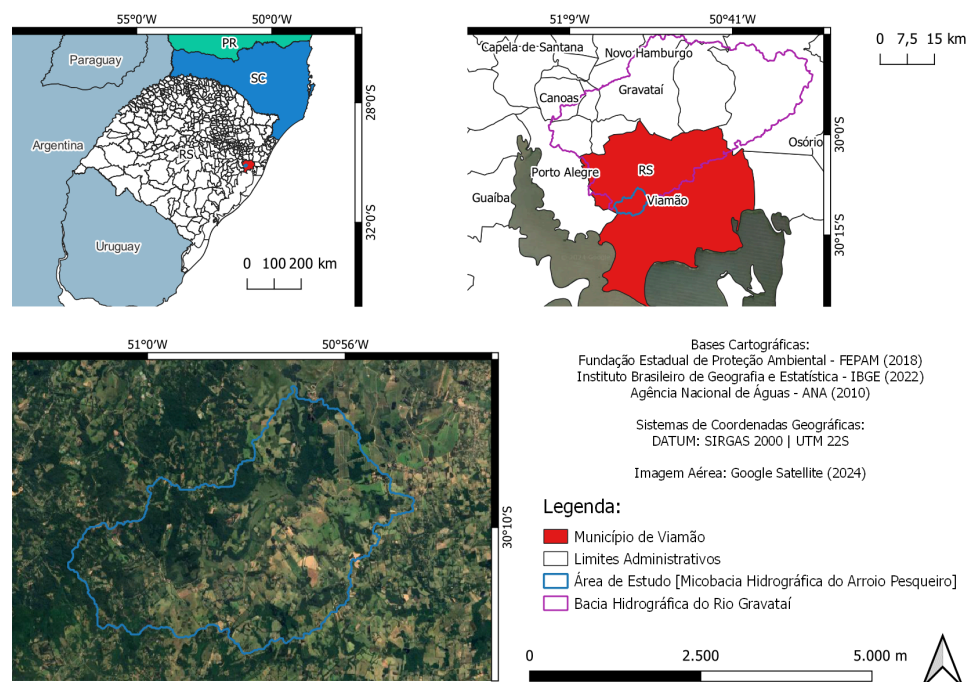
espécies arbóreas e arbustivas de pequeno a médio porte, conseguindo se adaptar bem às condições de solo saturado.

A BHRG também pode ser interpretada em duas regiões que possuem características de ocupação distintas. A primeira delas com predomínio de plantio de arroz e intensa atividade agropecuária, e a outra próxima das áreas urbanas, sendo influenciada pelas zonas de industrialização locais e a alta densidade populacional (Guasselli *et al.*, 2018). A Microbacia do Arroio Pesqueiro encontra-se na primeira das situações citadas acima.

1.5.2 Microbacia do Arroio Pesqueiro (MBAP)

Localizada no extremo sul da Bacia do Rio Gravataí, compreendida na sub-bacia do Arroio Alexandrina, a Microbacia do Arroio Pesqueiro encontra-se no distrito de Passo d'Areia, no município de Viamão, Rio Grande do Sul (Figura 1). Delimitada a sul pela RS-040, fazendo divisa a leste de Porto Alegre, e a oeste do distrito de Águas Claras, também pertencente a Viamão. Possui uma extensão aproximada de 41.069 m², e sua altimetria varia de 26 a 213 m. Segundo dados do IBGE (2021), o município de Viamão - RS possui uma população de 256.302 habitantes, com uma significativa parte de sua paisagem sendo rural.

Figura 1 - Mapa de localização da microbacia do Arroio Pesqueiro, Viamão - RS.



Fonte: Elaboração própria, 2024.

Hidrologicamente, o município de Viamão é caracterizado por uma complexa rede de drenagem que inclui rios, arroios e diversas áreas de banhado. Segundo o IBGE (2009), a cidade está inserida em uma região com padrões de drenagem predominantemente dendríticos, típicos de áreas de relevo suave e homogêneo. Essa rede hidrológica diversificada é fundamental para a agricultura, a pecuária e o abastecimento das populações urbanas e rurais de Viamão.

Geologicamente, segundo Villwock & Tomazelli (1995), a Microbacia do Arroio Pesqueiro está situado em uma zona de interface entre as rochas graníticas do Escudo Sul-Riograndense e a Bacia Sedimentar de Pelotas. No que diz respeito ao domínio do Escudo Sul-Riograndense, a litologia da região é dominada por sienogranitos da suíte Dom Feliciano. O mesmo é formado por rochas ígneas plutônicas, metamórficas e sedimentares datadas do período Arqueano até o Cambriano. (Menegat *et al.*, 2006, p. 25).

Já sobre a Bacia Sedimentar de Pelotas, trata-se de uma importante formação geológica que se estende do Rio Grande do Sul até o litoral do Uruguai. Constituída por uma sequência sedimentar que pode ultrapassar os 10.000 m de espessura, a mesma representa uma das maiores bacias marginais do Atlântico Sul. Segundo Villwock e Tomazelli (1995), os sedimentos encontrados na bacia são predominantemente de origem marinha e continental, depositados ao longo das eras geológicas por meio de processos de subidas e descidas do nível do mar. A Bacia teve início a partir de aproximadamente 130 milhões de anos, no final do período Mesozóico, devido ao processo de separação dos continentes da América do Sul e da África.

A Bacia Sedimentar de Pelotas também foi responsável por originar a Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS), onde a PCRS corresponde a parte atualmente emersa da bacia sedimentar que conta com 33.000km² de extensão, apresentando quatro sistemas deposicionais do tipo Laguna-Barreira, formados durante o período Quaternário (Villwock *et al.* 1986; Villwock & Tomazelli, 1995). A área de estudo está inserida no Sistema Laguna-Barreira I, onde segundo os autores, trata-se do resultado de um primeiro evento transgressivo-regressivo pleistocênico, datado segundo a curva isotópica de oxigênio em 325 ka.

Geomorfologicamente, na área de estudo está inserida a Coxilha das Lombas, que representa os depósitos praias e eólicos do sistema Barreira I. Para Villwock & Tomazelli (1995, p. 18) "seu desenvolvimento deu-se a partir da

acumulação de sedimentos eólicos que ancoraram de preferência sobre altos do embasamento”.

Pedologicamente, a região apresenta uma complexa variedade de solos de drenagem fluvial e deltaica, sendo possível encontrar variações que vão de solos arenosos a argilosos, que acabam por influenciar na permeabilidade e na capacidade de retenção de água da região. Segundo Nielsen (1994) e Guasselli *et al.* (2018), entre os tipos de solos presentes estão: o Argissolo Vermelho-Amarelo, com alta concentração orgânica; o Planossolo Hidromórfico, que possui baixa capacidade de drenagem; e o Neossolo Litólico, caracterizado por sua baixa concentração de matéria orgânica.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Sensoriamento Remoto

Fundamentado a partir de técnicas eletromagnéticas de captura de dados, o termo Sensoriamento Remoto é considerado “a aquisição de informação de um objeto ou fenômeno sem contato físico com o mesmo” (SIMONETTI; ULABY, 1983). Em constante evolução, os sensores remotos estão cada vez mais aptos a obter imagens da superfície terrestre a distâncias remotas, capturando dados eletromagnéticos, como luz visível, infravermelha e micro-ondas, que são processados para criar imagens e dados sobre características geográficas, ambientais e climáticas da Terra. Registrando as energias refletidas, emitidas ou dispersas por estes mesmos alvos, sejam eles eletromagnéticos, acústicos ou potenciais (Lorenzetti, 2015).

Dessa forma, sensores ópticos a bordo de aeronaves e satélites produziram dados sobre a superfície terrestre, permitindo importantes aplicações da tecnologia do sensoriamento remoto para estudos ambientais, agrícolas e monitoramento e detecção de mudanças globais (Schowengerdt, 2007).

Em sensoriamento remoto trabalhamos nas seguintes faixas do espectro eletromagnético (Figura 2): no visível, que vai de 0,4 a 0,76 μm ; no infravermelho próximo, de 0,76 a 1,2 μm ; no infravermelho de ondas curtas, de 1,2 a 3 μm ; de 3 a 5 temos o infravermelho médio; de 8 a 14 μm , no infravermelho termal; e na faixa

das microondas na qual atuam os radares, porém seus sistemas não são expressos em comprimento de onda (Baptista, 2021).

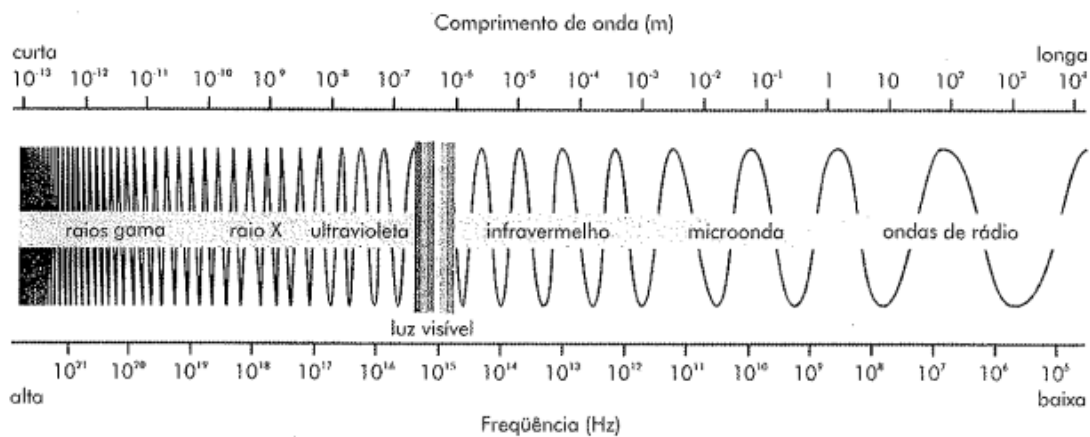


Figura 2: Espectro eletromagnético. Fonte: Florenzano (2011).

Segundo Chisato *et al.*, (2003), compreender a evolução espaço-temporal da mudança de uso e cobertura do solo constitui um passo importante para entendimento da relação entre o homem e o meio físico e para a estimativa de consequências futuras. Isso viabiliza a detecção de alterações ambientais significativas, como desmatamento, urbanização e demais mudanças no uso e cobertura da terra. Permitindo o acompanhamento da evolução de ecossistemas e a tomada de decisões informadas em políticas de conservação e manejo de recursos naturais.

Além disso, o Sensoriamento Remoto promove a colaboração e integração entre diversas disciplinas acadêmicas, como geografia, ciências ambientais, engenharia e ciência da computação. Essa abordagem interdisciplinar é essencial para abordar questões complexas relacionadas ao meio ambiente e ao desenvolvimento sustentável, permitindo uma compreensão mais abrangente dos processos terrestres e suas interações.

2.2 Análise de Imagens Baseada em Objetos Geográficos (GEOBIA)

A *Geographic Object-Based Image Analysis* (GEOBIA) é uma metodologia inovadora para a análise de imagens de sensoriamento remoto. Diferente das abordagens tradicionais baseadas em *pixels*, essa abordagem permite uma interpretação mais próxima da percepção humana e facilita a extração de informações geográficas detalhadas.

Segundo Gonzales & Woods (2000), a etapa de pré-processamento da imagem consiste em melhorar a imagem para o sucesso dos processos seguintes. A mesma envolve técnicas para o realce de contrastes, remoção de ruído e isolamento de regiões cuja textura indique a probabilidade de informação alfanumérica.

Posteriormente, é realizada a etapa de segmentação, que envolve a divisão da imagem em segmentos ou objetos homogêneos com base em critérios específicos como cor, textura, forma e contexto espacial (Blaschke, 2010). Este processo cria uma representação hierárquica da imagem, onde os objetos são organizados em diferentes níveis de detalhe.

Após a segmentação, os objetos são classificados de acordo com suas características espectrais, texturais e contextuais. A classificação pode ser supervisionada ou não supervisionada, utilizando algoritmos que analisam as propriedades dos objetos para atribuir rótulos correspondentes às classes de interesse (Hay & Castilla, 2008). A análise baseada em objetos permite a incorporação de conhecimento contextual, o que melhora significativamente a precisão da classificação em comparação com métodos baseados em *pixels*.

Também se faz possível acrescentar outras camadas de informação geográfica ao conjunto matricial, como informações cadastrais, modelos digitais de elevação (MDE), mapeamentos temáticos, índices espectrais, morfométricos, texturais; Infravermelho, Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI).

Uma das principais vantagens da GEOBIA é sua capacidade de lidar com a heterogeneidade das paisagens naturais e urbanas. Ao considerar grupos de *pixels* como unidades de análise, a GEOBIA reduz a sensibilidade ao ruído e às variações espectrais que podem confundir os métodos tradicionais baseados em *pixels* (Addink, Van Coillie, & De Jong, 2012). Além disso, a abordagem baseada em objetos facilita a integração de dados multi-escala e multi-temporais, permitindo análises mais robustas e detalhadas.

2.3 Definição de Bacia e Microbacia Hidrográfica

Parte-se do princípio que uma bacia hidrográfica é uma região geográfica delimitada por divisores de água, onde toda a precipitação que ocorre converge para um único ponto de saída, seja ele um rio, lago ou oceano. Essa área inclui todos os sistemas hídricos, como rios, riachos e afluentes, que fluem para esse ponto de drenagem. Entre os elementos que constituem uma bacia hidrográfica, incluem-se: os divisores d'água, que são limites topográficos que separam uma bacia de outra; o curso d'água principal; os afluentes, que são rios menores que desaguam no curso d'água principal; e as áreas de captação, que são as superfícies terrestres que contribuem com água para o sistema de drenagem.

Já uma microbacia hidrográfica pode ser considerada uma subdivisão de uma bacia hidrográfica maior e geralmente se refere a uma área menor, com cursos d'água de menor porte. Alguns autores, como Freitas e Kerr (1996) citados por Botelho (1999), enfatizam que a área de uma microbacia depende dos objetivos específicos do estudo, enquanto outros, como Faustino (1996) citado por Teodoro *et al.*, (2007), estabelecem um limite de 100 km² para a área de uma microbacia. Outros ainda, como Cecílio e Reis (2006) citados por Teodoro *et al.*, (2007), definem uma microbacia como uma sub-bacia hidrográfica com área reduzida, variando entre 0,1 km² a 200 km². As microbacias desempenham um papel fundamental na manutenção da vida em escala local, sendo responsáveis pela sustentação da fauna, flora e das comunidades, além de contribuírem significativamente para a recarga dos cursos d'água.

Dentre alguns desafios de uso e manejo das microbacias hidrográficas encontram-se o aumento de construções de reservatórios artificiais, como açudes e barragens, que, ao desviar a água desses sistemas naturais, contribuem para a redução e degradação das áreas úmidas, além da ampla utilização na agropecuária, pois o plantio de pasto também requer irrigação. Sem contar as poluições de origem industrial e urbana que se somam às demais perturbações no ambiente.

Portanto, é de extrema importância que haja uma abordagem integrada e sustentável na gestão das bacias e microbacias hidrográficas no Rio Grande do Sul, com ênfase na participação comunitária e na implementação de práticas de uso racional da água.

3. METODOLOGIA

3.1 Composição de Banco de Dados Geoespaciais

Foi composta uma base de dados geoespaciais em ambiente SIG, utilizando o software *QGIS 3.22.4 Białowieża*, Versão de Longa Duração de 2022 (*Long Term Release*). Sites como o do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e Fundação Estadual de Proteção Ambiental (FEPAM) permitem o *download* de dados vetoriais dos limites municipais e regionais até bacias hidrográficas e recursos hídricos, assim é possível reunir uma grande quantidade de informações sobre o ambiente que está sendo estudado.

Para o ano de 2015, foram utilizadas imagens do satélite Sentinel-2. Desenvolvido em Junho de 2015 pelo programa europeu *Copernicus*, o mesmo é responsável por oferecer dados a partir de dois satélites operacionais que utilizam de um sensor *MultiSpectral Instrument* (MSI) com resolução espectral 13 bandas de imagem, e *Resolução Espacial* (tamanho do *pixel* da imagem) de 10, 20 e 60m. As bandas de imagem escolhidas contém a resolução de 10m o *pixel*. Com referência de identificação:

"S2A_MSIL1C_20151122T132122_N0204_R038_T22JDM_20151122T132134.SAFE; e

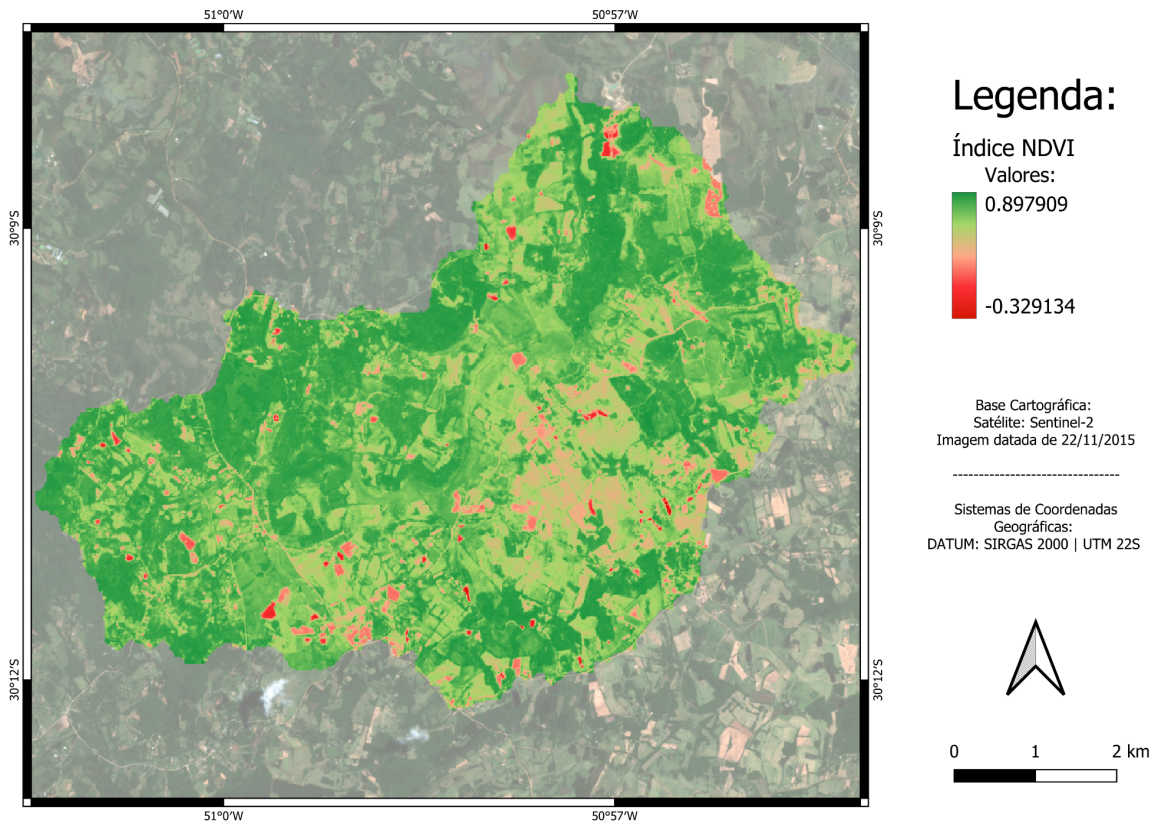
"S2A_MSIL2A_20151122T132122_N0204_R038_T22JEM_20151122T132134.SAFE", as imagens foram capturadas pelo satélite em 22/11/2015 às 13:21.

Foram processados também, para compor os dados de entrada da classificação de 2015, os índices NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) e NDWI (Índice de Água por Diferença Normalizada). Desenvolvido por Rouse *et al.*, (1973), o NDVI avalia a vegetação verde e sua densidade em imagens de satélite. "O valor de NDVI varia de acordo com a absorção da radiação na banda vermelha pela clorofila e a reflexão da radiação infravermelha pelas células das folhas vivas" (BARATI, 2011). O NDVI é obtido através das bandas do vermelho e do infravermelho próximo com as bandas do satélite Sentinel-2 da seguinte forma:

$$\text{NDVI} = (\text{B08} - \text{B04}) / (\text{B08} + \text{B04})$$

Onde: B08 corresponde ao comprimento de onda do infravermelho próximo, e B04 correspondente a banda do vermelho. O mapa produzido com o índice NDVI pode ser visto na figura y.

Figura 3 - Aplicação de índice NDVI na área de estudo em 2015.



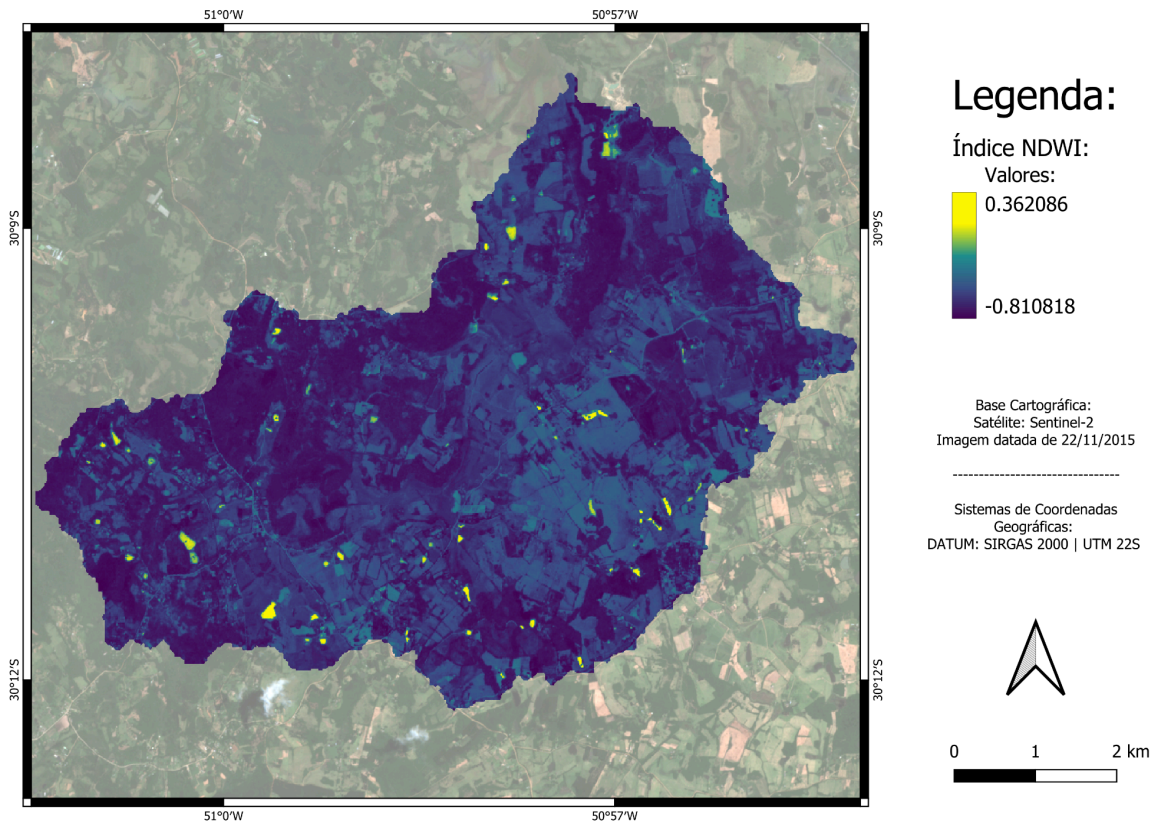
Fonte: Elaboração própria, 2024.

Já o NDWI, desenvolvido por McFeeters (1996), é responsável pela absorção da radiação das bandas do verde e infravermelho próximo. O presente método abriu portas para diversas aplicações que vão desde o mapeamento e a delimitação de corpos d'água, a avaliação da qualidade física da água, a medição da turbidez e da concentração de sedimentos, até a detecção e classificação de plantas aquáticas. O presente índice pode ser representado pelo esquema de bandas do Sentinel-2 da seguinte forma:

$$\text{NDWI} = (\text{B03} - \text{B08}) / (\text{B03} + \text{B08})$$

Onde: B03 corresponde ao comprimento de onda do verde, e B08 correspondente a banda do infravermelho próximo. O mapa produzido a partir do processamento NDWI pode ser visto na figura 2y:

Figura 4 - Aplicação de índice NDWI na área de estudo em 2015.



Fonte: Elaboração própria, 2024.

A partir do desenvolvimento dos índices NDVI e NDWI clássicos, diversos outros com variações sobre a formulação das bandas consideradas foram derivados. Neste trabalho, porém, foram utilizados os índices com as fórmulas clássicas citadas.

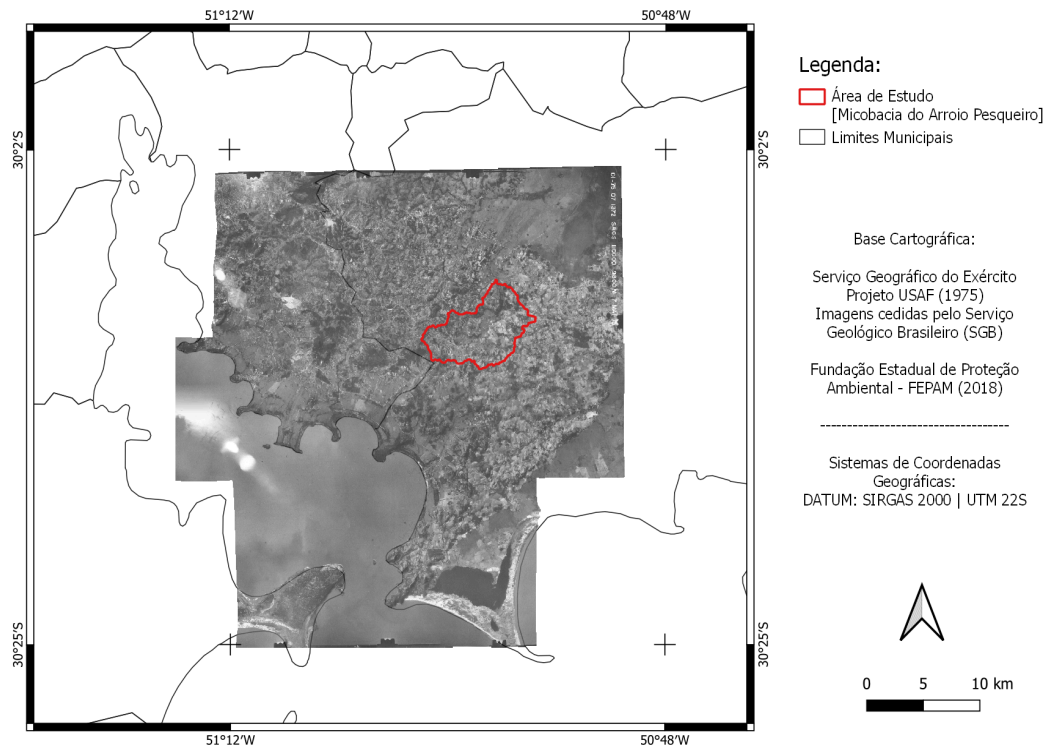
Para adquirir as fotografias aéreas de 1975, entrou-se em contato com o Serviço Geológico Brasileiro (SGB), obtendo o material com referência do Serviço Geográfico do Exército (SGE), do Projeto SACS. Foram selecionadas 6 fotos, em escala 1:110000 nos respectivos códigos de identificação: 1372; 1373; 1374; 1417; 1418; 1419. Todas elas foram capturadas em um único aerofoto-levantamento, realizado no dia 07/05/1975.

As fotografias aéreas abrangeram toda a área de estudo, e foram digitalizadas em 1200 dpi, 16 bits e formato TIF. Para a construção do ortofotomosaico utilizou-se o *software Agisoft Metashape*®. O primeiro procedimento consistiu na aplicação de máscaras para remover distorções, rasuras e informações sem referência que poluíssem a imagem. Posteriormente as fotografias foram alinhadas e foi gerado o ortofotomosaico a partir dos módulos *Structure From Motion* e *Multi View Stereo* da ferramenta.

O georreferenciamento foi realizado usando o *software Global Mapper*® onde atribuíram-se coordenadas na imagem dentro de um sistema de coordenadas geográficas já conhecidas, nesse caso em SIRGAS2000 - UTM22S. Foram plotados cerca de 18 pontos de controle (GPC) na imagem com suas respectivas latitudes e longitudes conferidas a partir do mapa base do *Google Satellite*, que já é previamente georreferenciado. Ou seja, cada ponto de controle plotado é referente a alguma feição que se faz presente em ambas as imagens, tanto de 1975 quanto a do *Google Satellite*. Os objetos identificados variam entre estradas, cruzamentos, rótulas, rotatórias ou qualquer via de infraestrutura urbana que possa ser reconhecida em ambas as imagens. O ortofotomosaico com a delimitação da área de estudo pode ser visto na figura 3.

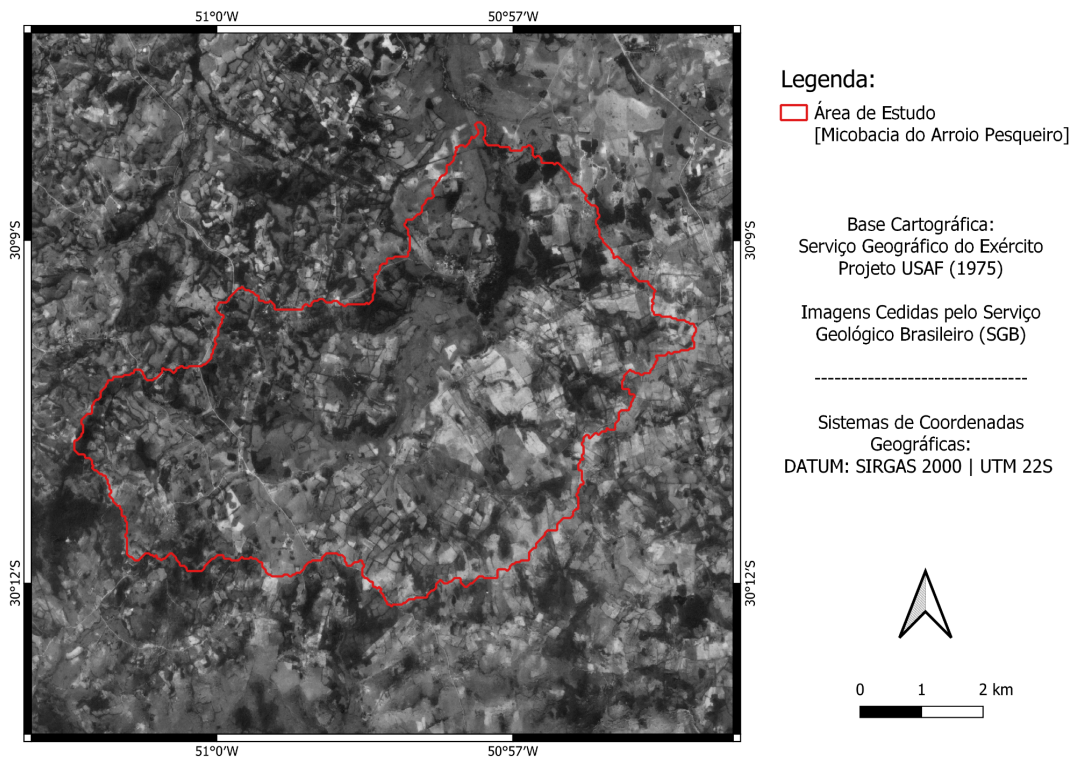
O vetor de delimitação da microbacia foi gerado a partir do Modelo Digital de Elevação ANADEM (Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2024), versão do Modelo Digital de Superfície (MDS) do Copernicus com 30 m de resolução, do qual removeu-se os dados de vegetação.

Figura 5 - Ortofotomosaico gerado para ilustração da microbacia do Arroio Pesqueiro em 1975.



Fonte: Elaboração própria, 2024.

Figura 6 - Recorte da área de estudo em 1975.



Fonte: Elaboração própria, 2024.

3.2 Processamento Digital de Imagem e GEOBIA em 1975

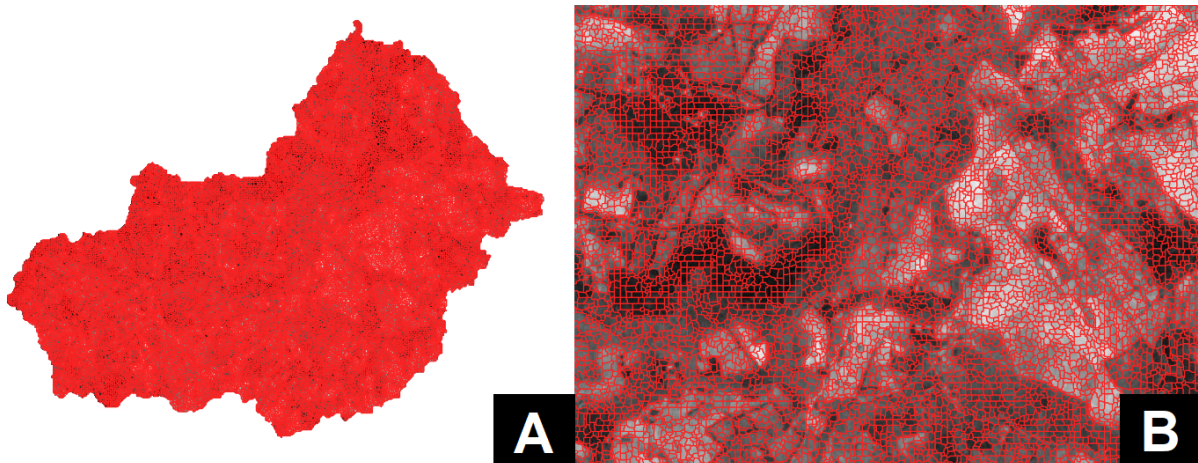
Começamos a análise de GEOBIA usando a imagem de 1975, utilizando o *software eCognition Developer 64®*. A base de dados incluiu apenas o ortofotomosaico, o ANADEM e o vetor de delimitação da área de estudo que entrou como camada temática do projeto. Todos os dados de entrada vão ajudar o *software* a entender o padrão estatístico dos alvos que foram vetorizados. Realizamos inicialmente uma Segmentação Multi-resolução e continuamos com novas segmentações até determinar a escala mais adequada para a classificação. Os detalhes dos parâmetros utilizados para ajustar a segmentação estão disponíveis na tabela 1, e exemplificados na figura 5.

Tabela 1 - Parâmetros inseridos no algoritmo de segmentação *Multiresolution Segmentation* para imagem de 1975.

Tipo de segmentação:	Escala	Forma	Compacidade
Primeira segmentação	5	0,8	0,5
Segmentação final	10	0,8	0,5

Fonte: Elaboração própria, 2024.

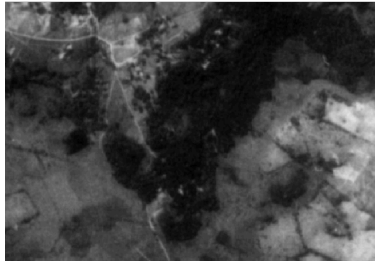
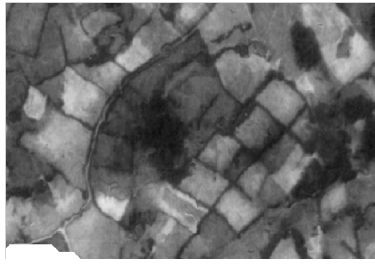
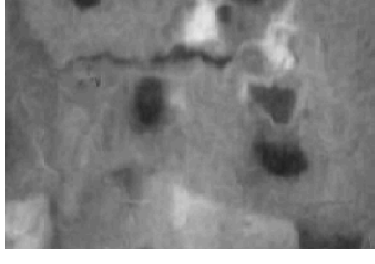

Figura 7 - A) Densidade poligonal proposta pela segmentação realizada conforme parâmetros citados e B) visualização com zoom dos polígonos.

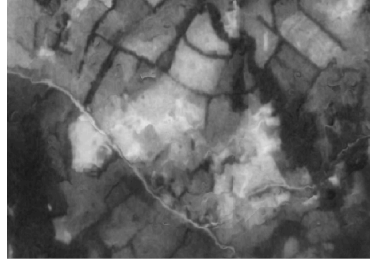


Fonte: Elaboração própria, 2024.

As classes de uso e cobertura da terra no ortofotomosaico foram identificadas visualmente com base em suas características de tonalidade, textura e forma, como detalhado na tabela 2 de acordo com Chiarelli (2024). O trabalho de Chiarelli (2024) foi utilizado como base a fim de possibilitar, futuramente, uma análise comparativa dos resultados de ambos os trabalhos. As classificações foram determinadas no *software eCognition Developer 64®* empregando parâmetros específicos como: brilho, máxima diferença espectral (Max. Diff), e os valores de elevação do Modelo Digital de Elevação.

Tabela 2 - Classes estabelecidas para a área de estudo em 1975

Chave de Classificação:	Características:	Exemplo Visual:
Vegetação Arbórea/Arbustiva:	Tonalidade: Escura Textura: Rugosa Forma: Irregular	
Agropecuária:	Tonalidade: Escura média Textura: Lisa Forma: Retangular e Irregular	
Corpos d'água:	Tonalidade: Escura média a clara Textura: Lisa Forma: Arredondado	
Áreas Úmidas:	Tonalidade: Escura Textura: Rugosa Forma: Entrelaçada	

Solo Exposto:	Tonalidade: Clara Textura: Lisa Forma: Retangular e Irregular	
---------------	---------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

Fonte: Elaboração própria, 2024.

Após a segmentação da imagem no *eCognition Developer 64®*, foram estabelecidas as hierarquias de classes e seus respectivos esquema de cores na aba “*Class Hierarchy*” do *software*. Após a definição dos parâmetros e das regras correspondentes conforme citado no parágrafo anterior, criou-se um novo plano de processamento na aba “*Process Tree*” para cada classe. Por conseguinte, para o processamento, foi utilizado o algoritmo “*Classification*” com a opção “*Domain*” marcada em “*Image Object Level*”.

3.3 Processamento Digital de Imagem e GEOBIA em 2015

No *eCognition Developer 64®* foram inseridas as bandas 4, 3 e 2 do Sentinel-2 com resolução espacial de 10m o *pixel*, além dos índices NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) e NDWI (Índice de Água por Diferença Normalizada), juntamente com a delimitação vetorial da bacia e o ANADEM. Após a inserção dos dados de entrada, realizou-se uma única Segmentação Multi-resolução, calibrando os parâmetros de formato, escala e compacidade dos objetos conforme especificado na tabela 3.

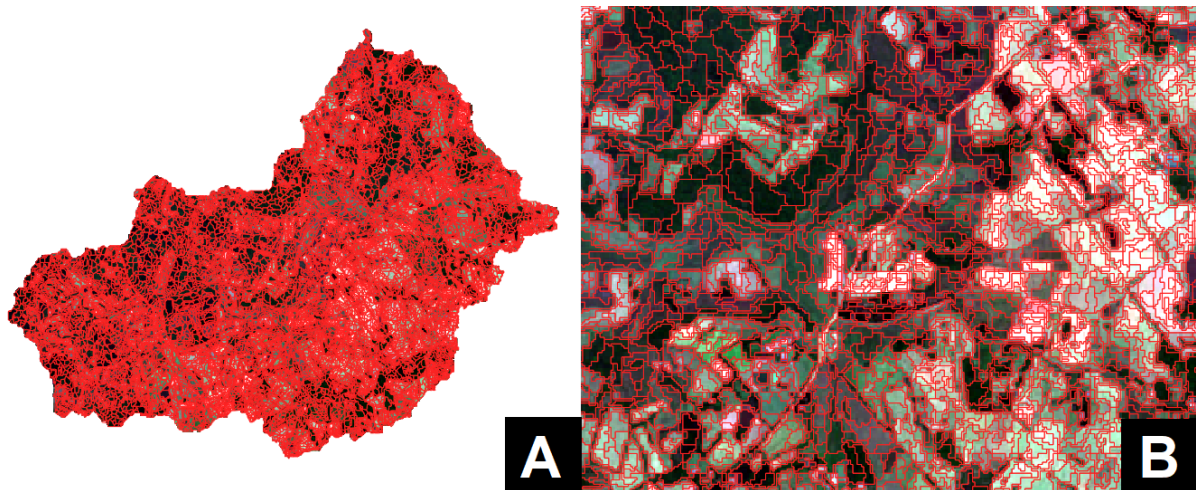
O motivo que influi no processamento de uma única segmentação se dá por conta da imagem raster Sentinel-2 possuir maior resolução espacial, implicando em uma maior assertividade ao distribuir os polígonos pela imagem. Por conta das diferenças de escala entre a fotografia aérea e a imagem de satélite, foram propostos outros valores de parâmetros para a imagem de 2015, diferentes dos aplicados para 1975. Os exemplos de segmentação e visualização da poligonação da imagem de 2015 podem ser vistos na figura 6.

Tabela 3 - Parâmetros de segmentação da imagem de 2015.

Tipo de Segmentação:	Escala:	Forma:	Compacidade:
Única Segmentação	10	0,5	0,5

Fonte: Elaboração própria, 2024.



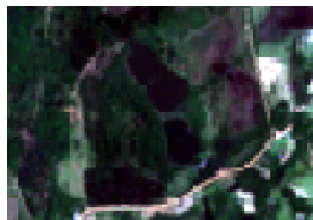
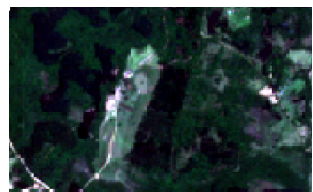
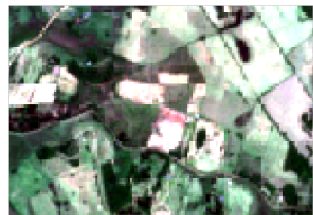


Figura 8 - A) Densidade poligonal proposta pela segmentação realizada na imagem de 2015; e B) sua visualização com zoom.



Fonte: Elaboração própria, 2024.

Para a criação das chaves de classificação da imagem de 2015, consideraram-se duas novas classes, a silvicultura e a área urbana. A identificação das demais categorias também foram pautadas em critérios visuais como coloração, forma, tonalidade e textura. As chaves estão representadas na tabela 4.

Tabela 4 - Classes da área de estudo em 2015.

Chave de Classificação:	Características:	Exemplo Visual:
Vegetação Arbórea/Arbustiva:	Cor: Verde Escura Tonalidade: Escura Textura: Rugosa Forma: Irregular	
Agropecuária:	Cor: Verde Clara a Branca Tonalidade: Clara Textura: Lisa Forma: Retangular e Irregular	
Corpos d'água:	Cor: Azul escuro Tonalidade: Escura média a clara Textura: Lisa Forma: Arredondado	
Silvicultura	Cor: Verde escuro Tonalidade: escura, média e clara Textura: Lisa a intermediária Forma: Retangular a irregular	
Solo Exposto:	Cor: Branco Tonalidade: Clara Textura: Rugosa Forma: Irregular	
Áreas Úmidas:	Cor: Cinza Tonalidade: Escura Textura: Rugosa Forma: Entrelaçada	
Áreas Urbanas:	Cor: Branco a Cinza Tonalidade: Clara Textura: Lisa Forma: Retangular e Irregular	

Fonte: Elaboração própria, 2024.

Após a definição dos parâmetros, baseados em valores estatísticos de brilho, máxima diferença entre pixels (*max. diff*) e dos valores do ANADEM (Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2024), o algoritmo *Image Object Level* no módulo *Classification* foi aplicado de maneira individual para cada uma das classes. Por fim, os dados de ambas as datas foram exportados na aba “*Export Results*” do *eCognition Developer 64®*, em formato *shapefile*, e com a opção *content type* marcada em “*polygon raster*”.

3.4 Matriz de processamento cruzado entre datas de 1975 e 2015.

Após a exportação dos dados de ambas as datas, os mesmos foram importados para o software *QGIS* e convertidos em raster conforme as classificações previamente definidas. Para realizar a conversão, abre-se o *software* no menu “*Raster*”, seleciona-se a opção “*Converter*” e, em seguida, o módulo “*Converter vetor para raster (rasterizar)*”. Com a criação de duas novas imagens raster, contendo agora as informações dos dados vetoriais, é possível quantificar os valores de área de cada classe, bem como é possível realizar o cruzamento das classificações.

Para tanto, habilitou-se a Caixa de Ferramentas de Processamento do *QGIS*, utilizando o plugin “*Semi-Automatic Classification Plugin*” (SCP) na ferramenta “*Cross Classification*”. Os parâmetros foram configurados inserindo o “*Input Raster*” (imagem de 2015) e o “*Reference Raster*” (imagem de 1975). Foi utilizada a opção “*Cross Matrix*” para realizar o cruzamento dos dados, resultando em uma nova imagem raster que representa o cruzamento das classes de ambas as datas, totalizando em 33 novas classes. Essas classes refletem os ganhos e perdas percentuais, bem como a variação na área em m² de cada classe entre as datas analisadas. As 33 classes resultantes foram reclassificadas em menor número, baseadas em uma matriz de comparação pareada das mudanças de uso e cobertura da terra, como no estudo realizado por Chiarelli (2024) (Tabela 7).

Os relatórios com os metadados foram extraídos utilizando a ferramenta “*Classification Report*” do plugin “*Semi-Automatic Classification Plugin*” (SCP) no *QGIS*, gerando uma planilha que detalha a porcentagem e a área em m² para cada um dos rasters gerados, incluindo o raster resultante com o cruzamento entre as datas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Uso e Cobertura da Terra em 1975

Os resultados do mapeamento de uso e cobertura da terra mostram que, em 1975, a Microbacia do Arroio Pesqueiro se encontrava impactada pelos processos relacionados à atividade antrópica. No que se diz respeito à distribuição de classes, a vegetação arbórea e arbustiva representava 21,71% da área, com sua maior concentração localizada ao norte da microbacia, diferente das demais regiões da MBAP que apresentaram distribuição esparsa com poucos aglomerados vegetativos. A agropecuária se fez presente em 52,89% da área total na imagem de 1975, e devido ao solo predominantemente arenoso na região, quase toda a sua totalidade se faz destinada à pastagem, já que não foram localizadas significativas áreas de cultivo.

Em 1975, o solo exposto cobria 17,78% da área, muito por conta dos afloramentos rochosos e das práticas agrícolas como pousio ou arado que aconteciam na área de estudo. Para esta data, possivelmente devido às escalas das fotografias, não foi possível identificar com precisão as áreas dedicadas à extração de granito ou areia.

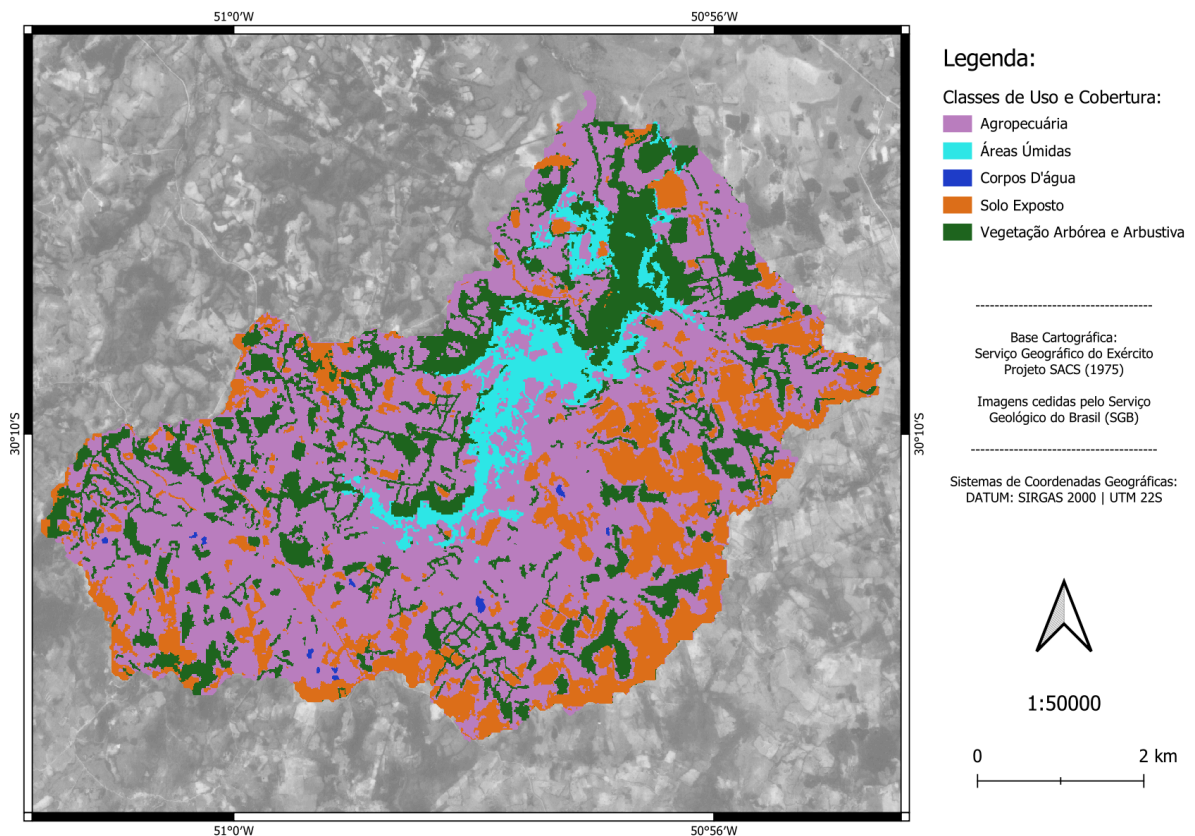
Nesta data, a hidrografia da região apresentou suas áreas úmidas em 5,99% da área total, concentrando-se nas planícies de inundação vistas conforme o modelo digital de elevação do terreno. Já na classe dos Corpos D'água, onde encontram-se os açudes, houve uma tímida porcentagem de 0,15%. Os valores estatísticos gerados para cada classe estão expressos na tabela 5, e o mapa com a representação na área de estudo na figura 5.

Tabela 5 - Distribuição de área das classes de mudança de uso e cobertura da terra na Microbacia do Arroio Pesqueiro em 1975.

Classe de Uso e Cobertura	Percentual da Área (%)	Área em m ²	Área em km ²
Vegetação Arbórea e Arbustiva	21,71%	8905614,40	8,9056144
Agropecuária	54,36%	22297658,88	22,29765888
Solo Exposto	17,78%	7295398,57	7,29539857
Áreas Úmidas	5,99%	2458711,36	2,45871136
Corpos D'água	0,15%	63170,58	0,06317058
Total	100%	41020553,79	41,02055379

Fonte: Elaboração própria, 2024.

Figura 9 - Mapa de uso e cobertura da terra na Microbacia do Arroio Pesqueiro em 1975.



Fonte: Elaboração própria, 2024.

4.2 Uso e Cobertura da Terra em 2015

Na imagem de 2015, na classe de vegetação arbórea e arbustiva, encontrou-se um total de 34,11%, apontando uma regeneração de 12,4% ao compararmos com a imagem de 1975, já sendo possível comprovar a hipótese de que o desmatamento na região foi contido, havendo regeneração da cobertura vegetal na área de estudo apontando a resiliência do ambiente com o passar das décadas.

Cerca de 2,53% foram constatados na classe de Silvicultura na imagem de 2015, o que comprova o início de uma crescente atividade econômica na região, e também levando a reflexão de que nem todo crescimento arbóreo é eficaz, tendo em vista que segundo Costa *et al.*, (2012), árvores como Pinus e Eucaliptos são árvores que consomem os recursos do ambiente, provocando impactos ambientais causados pela substituição da vegetação nativa por monoculturas exóticas.

“Quando o ambiente perde sua característica de heterogeneidade ou de complexidade gênica, significa que se está procedendo a uma simplificação desses ecossistemas. A bioecologia não se expressará na sua verdadeira essência em decorrência da falta de diversidade de hospedeiros (plantas versus animais).”
(COSTA *et al.*, 2012, pg. 8.).

Já na classe de Agropecuária, foram encontradas distribuições em 52,85% da área de estudo em 2015. Ou seja, não houveram mudanças expressivas no que se diz respeito à distribuição dos campos de agropecuária na região.

A classe das Áreas Úmidas sofreu uma pequena regressão com o passar dos anos. Em 2015 foram constatados 5,17% da área total, evidenciando uma redução de 0,82% desde 1975. Já a classe dos Corpos D'água cresceu timidamente, alcançando 1,03% da área total em 2015, havendo um acréscimo de 0,88% com relação à imagem de 1975.

Na classe dos solos expostos, houve uma retração de 13,88% da área previamente levantada. É possível observar uma expansão das áreas de agropecuária sobre os antigos solos expostos, sugerindo que a classe de solo exposto acaba por integrar o mosaico agro-pastoril, que em muitas vezes refletem locais de "pousio" ou em fase inicial da plantação de pasto. Por fim, foram

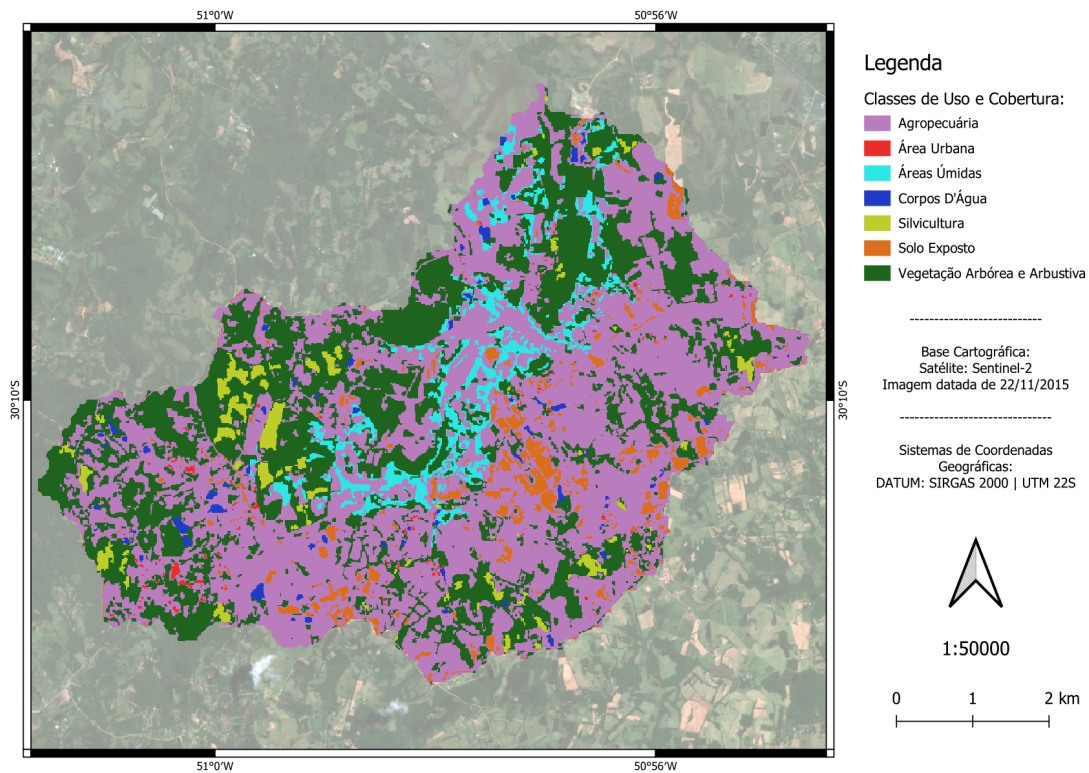
classificadas as Áreas Urbanas, que alcançaram 0,40% da área total do mapa (Figura 6). Os valores estatísticos podem ser compreendidos na tabela 6.

Tabela 6 - Distribuição de área das classes de mudança de uso e cobertura da terra na Microbacia do Arroio Pesqueiro em 2015.

Classe de Uso e Cobertura	Percentual da Área (%)	Área em m²	Área em km²
Vegetação Arbórea e Arbustiva	34,11%	13967525,98	13,96752598
Agropecuária	52,85%	21638103,81	21,63810381
Solo Exposto	3,90%	1595596,73	1,59559673
Áreas Úmidas	5,17%	2117190,70	2,1171907
Corpos D'água	1,03%	423552,82	0,42355282
Silvicultura	2,53%	1034935,90	1,0349359
Área Urbana	0,40%	165608,67	0,16560867
Total	100%	40942514,61	40,94251461

Fonte: Elaboração própria, 2024.

Figura 10 - Mapa de uso e cobertura da terra na Microbacia do Arroio Pesqueiro em 2015.



Fonte: Elaboração própria, 2024.

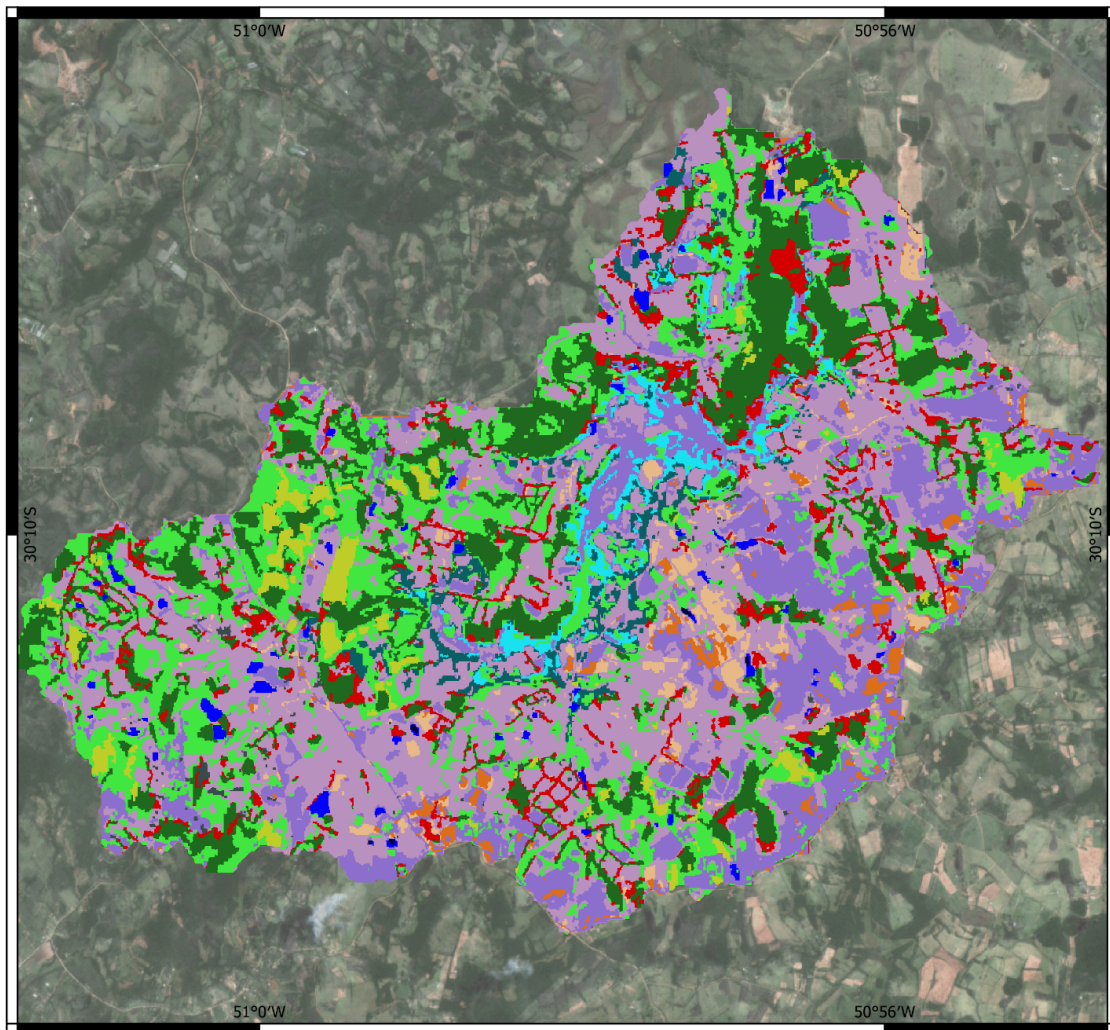
O mapa das mudanças de uso e cobertura da terra são apresentados na figura 7, cujas classes foram indicadas na tabela 7. Enquanto na tabela 8 encontram-se os percentuais e os valores de abrangência de área em m² e km², conforme sobreposições da matriz de cruzamento.

Tabela 7 - Matriz de cruzamento e sobreposição de diferentes classes entre datas.

2015 — 1975	Vegetação Arbórea e Arbustiva	Agropecuária	Solo Exposto	Áreas Úmidas	Corpos D'água	Silvicultura	Área Urbana
Vegetação Arbórea e Arbustiva	Sem Mudança	Desmata mento	Desmata mento	Desmata mento	Desmata mento	Expansão da Silvicultura	Desmata mento
Agropecuária	Crescimen to Vegetativo	Sem Mudança	Exposiçã o ao Solo	Expansão das Áreas Úmidas	Implemen tação de Açudes	Expansão da Silvicultura	Urbaniza ção
Solo Exposto	Crescimen to Vegetativo	Avanço Agropecu ário	Sem Mudança	Expansão das Áreas Úmidas	Implemen tação de Açudes	Expansão da Silvicultura	Urbaniza ção
Áreas Úmidas	Crescimen to Vegetativo	Avanço Agropecu ário	Exposiçã o ao Solo	Sem Mudança	Implemen tação de Açudes	Expansão da Silvicultura	-
Corpos D'água	Crescimen to Vegetativo	Avanço Agropecu ário	Exposiçã o ao Solo	Expansão de Áreas Úmidas	Sem Mudança	Expansão da Silvicultura	-














Fonte: Modificado de Chiarelli (2024).

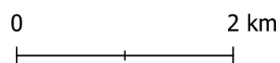
Figura 11 - Mapa de Mudanças no Uso e Cobertura da Terra entre 1975 e 2015.



Legenda:

Classes de Uso e Cobertura:

- | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  Vegetação Arbórea e Arbustiva (Sem Mudança) |  Exposição ao Solo |
|  Crescimento Vegetativo |  Áreas Úmidas (Sem Mudança) |
|  Desmatamento |  Expansão de Áreas Úmidas |
|  Agropecuária (Sem Mudança) |  Corpos D'água (Sem Mudança) |
|  Avanço Agropecuário |  Implementação de Açudes |
|  Solo Exposto (Sem Mudança) |  Urbanização |
| |  Expansão da Silvicultura |



1:50000

Base Cartográfica:
Imagens: Satélite Sentinel-2 e
Serviço Geográfico do Exército
Projeto SACS (1975)

Imagens cedidas pelo
Serviço Geológico do Brasil (SGB)

Sistemas de Coordenadas Geográficas:
DATUM: SIRGAS 2000 | UTM 22S

Fonte: Elaboração própria, 2024.

Tabela 8 - Porcentagem das chaves de classificação presentes na matriz de cruzamento.

Classes	Percentual (%)	Área em m²	Área em km²
Vegetação Arbórea e Arbustiva (Sem Mudança)	15,18%	6210366,72	6,21036672
Crescimento Vegetativo	18,94%	7747100,66	7,74710066
Desmatamento	5,71%	2336570,09	2,33657009
Agropecuária (Sem Mudança)	32,24%	13188627,53	13,18862753
Avanço Agropecuário	15,76%	6445265,39	6,44526539
Solo Exposto (Sem Mudança)	1,47%	602778,36	0,60277836
Exposição ao Solo	2,26%	923644,54	0,92364454
Áreas Úmidas (Sem Mudança)	2,02%	824965,24	0,82496524
Expansão das Áreas Úmidas	2,45%	1002488,02	1,00248802
Corpos D'água (Sem Mudança)	0,04%	14346,73	0,01434673
Implementação de Açudes	1,03%	419397,84	0,41939784
Urbanização	0,40%	165624,14	0,16562414
Silvicultura	2,50%	1024068,5	1,0240685
Total Resultado	100%	40905243,76	40,90524376

Fonte: Elaboração própria, 2024.

4.3 Comparativo com dados referentes a 1964 e 2023

De acordo com os dados apresentados por Chiarelli (2024), que cobrem os anos de 1964 a 2023, o ambiente passou por uma fase de estabilidade, seguidas de aumentos nos índices de desmatamentos, e finalmente, uma regeneração da vegetação arbórea e arbustiva.

Em 1964, a cobertura arbórea e arbustiva era de 36,91%, onde houve decréscimo de 15,20% da vegetação em 1975. No entanto, houve uma recuperação da classe de cobertura, aumentando de 12,40% até 2015, e com aumento de 4,43% de 2015 até 2023.

No que diz respeito à agropecuária, a área destinada a pastagens manteve os valores bem próximos entre as datas analisadas, com aumentos e retrações não muito expressivas, com valores em 48,35% em 1964, com aumento de 6,01% até 1975, diminuindo 1,51% até 2015, e diminuindo novamente 3,84% até 2023.

Em relação às áreas úmidas, Chiarelli (2024) registrou uma cobertura de 7,58% em 1964, diminuindo 1,59% comparados com os valores encontrados em 1975, diminuindo novamente 0,82% até 2015, indicando uma retração ao longo dos anos. Não houve como mensurar aumento ou perda da classe proposta, pois o trabalho proposto por Chiarelli (2024) não contabilizou as áreas úmidas em 2023.

Os corpos d'água foram identificados em 0,84% da área de estudo em 1964. Em 1975, o mapeamento revelou apenas 0,15% dos corpos d'água, sugerindo dificuldades de mapeamento e uma possível redução dos recursos hídricos. No entanto, se comparar os índices de 1964, 2015 e 2023, constatou-se um aumento de 0,19% até 2015, e 0,21% de 2015 até 2023, refletindo a crescente demanda das comunidades locais para usos diversos como agropecuária e fornecimento de água para a pastagem e o gado.

Segundo a avaliação dos resultados de Chiarelli (2024), foi possível evidenciar a regeneração da classe de vegetação, e uma possível perturbação dos sistemas hídricos que acabam por sofrer com os impactos antrópicos.

A silvicultura e a área urbana mostraram crescimento quando comparados os dados de 2015 com os de 2023. A silvicultura ganhou espaço como atividade econômica na região, com um aumento de 5,44%, enquanto a área urbana aumentou 0,6%, indo de 0,40% para 0,46%. Os dados quantitativos se encontram descritos na tabela 9.

Tabela 9 - Comparativos com dados de percentual de cobertura propostos por Chiarelli (2024).

Ano — Classes:	1964	1975	2015	2023
Vegetação Arbórea e Arbustiva	36,91%	21,71%	34,11%	38,54%
Agropecuária	48,35%	54,36%	52,85%	49,01%
Solo Exposto	6,32%	17,78%	3,90%	2,79%
Áreas Úmidas	7,58%	5,99%	5,17%	-
Corpos D'água	0,84%	0,15%	1,03%	1,24%
Silvicultura	-	-	2,53%	7,97%
Área Urbana	-	-	0,40%	0,46%
Total	100%	100%	100%	100%

Fonte: Chiarelli (2024). Modificado por: Amaral (2024)

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo focou na análise das mudanças no uso e cobertura da terra na Microbacia do Arroio Pesqueiro, entre os anos de 1975 e 2015, comparando-os com os dados obtidos por Chiarelli (2024) para os anos de 1964 e 2023. A aplicação da GEOBIA apresentou grande precisão nos processamentos de 2015, demonstrando uma grande capacidade de interpretação de detalhes das geometrias compostas por *pixels* nas imagens, provando-se eficaz para a validação da hipótese de que com os reforços das leis ambientais que houveram na década de 80 com implementação da Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) (Lei no 6.938/81), houve regeneração da cobertura arbórea e arbustiva da área de estudo.

A análise revelou mudanças significativas, não apenas no crescimento das vegetações arbóreas e arbustivas, mas, também na crescente da silvicultura, na redução das áreas úmidas e no aumento dos corpos d'água (açudes) e da malha urbana. Obras de reservatórios d'água em uma rede de drenagem não muito expressiva pode diminuir os volumes de água totais na MBAP, influenciando diretamente na sua contribuição com o Rio Gravataí. Tais transformações na paisagem indicam pressões antrópicas na área de estudo, portanto, embora tenha ocorrido um crescimento na vegetação arbórea e arbustiva, há outros processos que sugerem interferências no ambiente.

No que se diz respeito aos processamentos de imagem, houve dificuldade para conseguir refinar os dados da classificação por GEOBIA na ortofoto de 1975. Foram necessários ajustes manuais a partir da técnica de inspeção visual na classe de vegetação arbórea e arbustiva, cujas características das imagens apresentaram confusão com a classe das áreas úmidas e agropecuária. Acredita-se que com a continuidade das atividades na área de estudo novos levantamentos possam ser feitos para ajudar na melhoria dos dados gerados, assim trazendo uma representação mais fiel possível do ambiente, minimizando a necessidade de correção manual dos mesmos.

Dentro do que foi proposto, é possível afirmar que houve êxito ao cumprir o objetivo principal do trabalho, assim como seus objetivos específicos. Foi possível analisar as Mudanças de Uso e Cobertura da Terra em um intervalo de quatro décadas, contrastando as diferenças de um ortofotomosaico de baixa resolução espectral ao lado de uma imagem de satélite, criando diferentes classificações de

uso para os diferentes alvos. Onde, com uma matriz de comparação pareada gerada a partir do cruzamento das classes de ambas as datas, se fez possível analisar o quanto uma classe cresceu ou diminuiu sob a outra, permitindo identificar a variação das manchas verdes de vegetação na área de estudo, assim como as áreas onde houve desmatamento, validando-se o método proposto. Ainda assim, estamos cientes da necessidade da validação dos resultados através da checagem das classes identificadas e classificadas, o que deverá ser realizado futuramente.

Destaca-se o fato de que, diferente das classificações supervisionadas e não-supervisionadas, cujos algoritmos categorizam os dados automaticamente, a GEOBIA, baseada na lógica *fuzzy* requer o conhecimento detalhado de seus parâmetros de processamento. É necessária atenção também para ajustar uma escala de segmentação adequada, e que permita uma boa poligonação, capturando de maneira efetiva a variabilidade de valores contidos nos objetos.

O surgimento de duas novas classes no mapeamento, a silvicultura e as áreas urbanas, evidenciados pela ortofoto de 2015, revelam uma transformação em curso na área de estudo. Embora estas classes ainda apresentem percentuais modestos, seus crescimentos abrem portas para interpretações de manejo e gestão futuras do ambiente, alertando para os desafios em torno das políticas ambientais de curto, médio e longo prazo.

O presente trabalho destaca também a importância em estudar essas dinâmicas ambientais, essenciais não apenas para uma gestão eficiente dos recursos naturais, mas também para fomentar a conscientização social acerca da relevância da área de estudo. Espera-se também que o presente trabalho seja mais que uma análise qualitativa a respeito do ambiente, e que o mesmo possa contribuir com a gestão da comunidade local. A intenção é que se possa promover engajamento e desenvolver um planejamento que reflita as reais necessidades da população residente, prevenindo o uso inadequado dos recursos da MBAP, garantindo a preservação da qualidade de vida.

6. REFERÊNCIAS:

ADDINK, E. A.; VAN COILLIE, F. M. B.; DE JONG, S. M. Introdução ao número especial GEOBIA 2010: de pixels a objetos geográficos na análise de imagens de sensoriamento remoto. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 15, p. 1-6, 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0303243411001772>. Acesso em: 10 jun. 2024.

BALSAMO ETCHEALAR, C.; RAUBER SIRANGELO, F.; FRAGA BELLOLI, T. O impacto das atividades antrópicas nas áreas úmidas na planície de inundação do Rio Gravataí - RS. *Revista Geonorte*, v. 5, n. 20, p. 385-390, 2014. Disponível em: <https://periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/1580>. Acesso em: 21 mai. 2024.

BARATI, S.; RAYEGANI, B.; SAATI, M.; SHARIFI, A.; NASRI, M. Comparison the accuracies of different spectral indices for estimation of vegetation cover fraction in sparse vegetated areas. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, v. 14, n. 1, p. 1-10, 2011.

BAPTISTA, G. M. M. Fundamentos de Sensoriamento Remoto. Laboratório de Propulsão Digital, 2021. 43 p. Disponível em: https://geosensor.com.br/wp-content/uploads/2023/01/Fundamentos-de-Sensoriamento-Remoto_Prof-Gustavo-Baptista.pdf. Acesso em: 10 jul. 2024.

BLASCHKE, T. Object-based image analysis for remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, v. 65, n. 1, p. 2-16, 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924271609000884>. Acesso em: 25 jun. 2024.

BOTELHO, R. G.; SILVA, A. S. da. A bacia hidrográfica e a qualidade ambiental. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. T. (Org.). *Reflexão sobre a Geografia Física no Brasil*. 6. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012. p. 37-56.

BOTELHO, R. G. Planejamento Ambiental em Microbacia Hidrográfica. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R. G. M. (Org.). *Erosão e Conservação dos Solos*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. p. 85-102.

BRUZZONE, L.; SERPICO, S. B. An iterative technique for the detection of land-cover transitions in multitemporal remote-sensing images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 35, n. 4, p. 858-867, 1997. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/602528>. Acesso em: 15 jun. 2024.

CAMARGO, F. F.; FLORENZANO, T. G.; ALMEIDA, C. M.; OLIVEIRA, C. G.; FEITOSA, R. Q. Análise Orientada a Objeto e Dados ASTER/Terra na Classificação do Relevo. *Boletim de Ciências Geodésicas*, v. 15, p. 81-102, 2009. Disponível em: https://www.revistageociencias.com.br/geociencias-arquivos/30_1/Art%2008_Camargo.pdf. Acesso em: 18 jul. 2024.

CHIARELLI, F. Mudanças de uso e cobertura da terra nas Áreas de Preservação Permanente (APP) no entorno dos cursos d'água da Microbacia do Arroio Pesqueiro, Bacia do Gravataí (Viamão) - TCC (Graduação) - Curso de Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2024.

CHISATO, O-F.; FIORI, A. P.; HASUI, Y. Dinâmica da ocupação do solo da bacia do Rio Itiquira, Mato Grosso, Brasil. *Raega-O Espaço Geográfico em Análise*, v. 7, 2003. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/269735360_DINAMICA_DA_OCUPACAO_DO_SOLO_DA_BACIA_DO_RIO_ITIQUIRA_MATO_GROSSO_BRASIL. Acesso em: 5 jul. 2024.

COLLISCHONN, L. ; ROSA, M.L.C.C. 2020. MAPEAMENTO DE TOPO DE UNIDADE AQUÍFERA NO LITORAL NORTE DO RIO GRANDE DO SUL ATRAVÉS DE DADOS DE POÇOS TUBULARES PROFUNDOS E DE SONDAGENS ELÉTRICAS VERTICAIS. In: I Congresso Brasileiro Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia, 2020, Evento online. Anais. v. 1. p. 266395.

COLLISCHON, L.; ROSA, M. L. C. da C.; SCHWARZER, G. Adequabilidade à locação de aterros sanitários: uma análise aplicada ao município de Viamão, Rio Grande do Sul. In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Geologia Ambiental, 17., 2022, Belo Horizonte. Anais eletrônicos [...]. Disponível em: https://schenautomacao.com.br/cbge2022/envio/files/trabalho1_97.pdf. Acesso em: 15 fev. 2024.

COLLISCHON, L.; ROSA, M. L. C. da C.; REGINATO, P. A. R. Estudo hidrogeológico do município de Viamão (RS). In: Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente, 7., 2023, Bento Gonçalves/RS. Anais eletrônicos [...]. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/264039?locale-attribute=es>. Acesso em: 15 fev. 2024.

DILLENBURG, S. R.; BARBOZA, E. G.; TOMAZELLI, L. J.; HESP, P. A.; CLEROT, L. C. P.; AYUP-ZOUAIN, R. N. The Holocene Coastal Barriers of Rio Grande do Sul. In: DILLENBURG, S. R.; HESP, P. A. (Eds.). *Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil*. Lecture Notes in Earth Sciences, 107, p. 53-91, 2009. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-44771-9_3. Acesso em: 22 jul. 2024.

ETCHELAR, C. *Processos erosivos em áreas úmidas, APA do Banhado Grande - RS*. 2017. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/293603159.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2024.

FLORENZANO, T. G. *Iniciação em Sensoriamento Remoto*. São Paulo: Oficina de Texto, 2011. 3. ed. Ampliada e atualizada. Disponível em: <http://educa.fcc.org.br/pdf/er/n40/n40a15.pdf>. Acesso em: 1 jun. 2024.

HAY, G. J.; CASTILLA, G. Geographic Object-Based Image Analysis (GEOBIA): A new name for a new discipline. In: BLASCHKE, T.; LANG, S.; HAY, G. J. (Eds.). *Object-Based Image Analysis: Spatial Concepts for Knowledge-Driven Remote Sensing Applications*. Springer, 2008. p. 75-89. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-77058-9_4. Acesso em: 12 jul. 2024.

LANG, S. Object-based image analysis for remote sensing applications: modeling reality – dealing with complexity. In: BLASCHKE, T.; LANG, S.; HAY, G. J. (Eds.). *Object-Based Image Analysis: Spatial Concepts for Knowledge-Driven Remote Sensing Applications*. Berlin: Springer, 2008. p. 3-28. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-77058-9_1. Acesso em: 20 jun. 2024.

LORENZETTI, J. M. *Princípios Físicos de Sensoriamento Remoto*. São Paulo: Oficina de Texto, 2015. p, 15.

MENEGAT, Rualdo; et al. S. *Atlas Ambiental de Porto Alegre*. 3. ed UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006. p. 25. Disponível em: https://www.ufrgs.br/atlas/atlas_digital.html. Acesso em: 9 de abr.

MENES, P. R.; SANO, E. E. Classificação Pixel a Pixel de Imagens. In: MENES, P. R.; ALMEIDA, T. (Eds.). *Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto*. Brasília: Universidade de Brasília, 2012. p. 191-208. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5550408/mod_resource/content/3/Livro-SensoriamentoRemoto.pdf. Acesso em: 7 jul. 2024.

McFEETERS, S. K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, v. 17, n. 7, p. 1425-1432, 1996.

QUEIROZ, Heithor Alexandre de Araújo. *Análise e otimização de métodos de classificação de imagens de satélite para monitoramento ambiental*. 2011. 150 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/25179/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O%20Heithor%20Alexandre%20de%20Ara%C3%BAjo%20Queiroz.pdf>. Acesso em: 21 mai. 2024.

ROSA, M.L.C.C.; GENRO, L.V.; SCHWARZER, G.; TRINDADE S.; COLLISCHONN L.; ROCHA M.X.; SOUZA T.P.; REGINATTO P.A.R. A Geologia de Viamão (RS): Recursos Naturais e o Uso do Solo. Relatório Técnico-Científico 01". Ação de Extensão UFRGS n° 44256. 2021

SANT'ANA, Daniel; *et al.* *Água e o ambiente construído*. Atena Editora, 2024. Disponível em: <https://atenaeditora.com.br/catalogo/ebook/agua-e-o-ambiente-construido>. Acesso em: 10 ago. 2024.

SCHOWENGERDT, R. A. *Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing*. 3. ed. San Diego: Elsevier (Academic Press), 2007. 515 p. Disponível em: <https://books.google.com/books?hl=pt-BR&lr=&id=KQXNaDH0X-IC&oi=fnd&pg=PP1&dq=schowengerdt+remote+sensing&ots=spiWMQDbQD&sig=s8TvzdkniE4zgbvDnzmdLjt19yk>. Acesso em: 10 jun. 2024.

SCHWARZER, G. Geoprocessamento aplicado ao mapeamento geotécnico para avaliação de aterros sanitários na microbacia hidrográfica do Arroio Pesqueiro, Viamão (RS). 2023. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/257335>. Acesso em: 15 mai. 2024.

SCHWARZER G.; ROSA, M.L.C.C; Análise Hidrogeomorfológica por meio do geoprocessamento: uma aplicação no município de Viamão (RS). 4° Simpósio de Jovens Profissionais. 17° Congresso Brasileiro de Engenharia e Geologia Ambiental. Belo Horizonte, MG. No prelo. 2022.

SIMONETTI, D. S.; ULABY, F. T. (EDS). *Manual of Remote Sensing*. 2. ed. Vol. I. Falls Church. VA: American Society of Photogrammetry, 1983.

TEODORO, V. L. L. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica local. *Revista Uniaria*, n. 20, 2007. Disponível em: [10.25061/2527-2675/ReBraM/2007.v11i1.236](https://doi.org/10.25061/2527-2675/ReBraM/2007.v11i1.236). Acesso em: 10 jul. 2024.

TOMAZELLI, L. J.; VILLWOCK, J. A. O Cenozóico Costeiro do Rio Grande do Sul. In: HOLZ, M.; DE ROS, L. F. (Eds.). *Geologia do Rio Grande do Sul*. p. 375-406, 2000. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/estratigrafia/Diversos/Tomazelli%20&%20Villwock%202000.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2024.