

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Centro de Desenvolvimento Tecnológico
Engenharia Hídrica



Trabalho de Conclusão de Curso

**Avaliação da qualidade ambiental e da expansão de macrófitas aquáticas
em represas do município de Caxias do Sul - RS.**

Juliano Vasconcellos Sinotti

Pelotas, 2021

Juliano Vasconcellos Sinotti

**Avaliação da qualidade ambiental e da expansão de macrófitas aquáticas
em represas do município de Caxias do Sul - RS.**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Centro de
Desenvolvimento Tecnológico da
Universidade Federal de Pelotas,
como requisito parcial à obtenção do
título de Bacharel em Engenharia
Hídrica.

Orientador: Dr. Felipe da Lucia Lobo

Pelotas, 2021

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

S615a Sinotti, Juliano Vasconcellos

Avaliação da qualidade ambiental e da expansão
de macrófitas aquáticas em represas do município de
Caxias do Sul - RS / Juliano Vasconcellos Sinotti ;
Felipe de Lucia Lobo, orientador. – Pelotas, 2021.

71 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em
Engenharia Hídrica) – Centro de Desenvolvimento
Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, 2021.

1. Sensoriamento remoto. 2. Macrófitas
aquáticas. 3. Google Earth Engine. I. Lobo, Felipe de
Lucia, orient. II. Título.

CDD : 627

Juliano Vasconcellos Sinotti

**Avaliação da qualidade ambiental e da expansão de macrófitas aquáticas
em represas do município de Caxias do Sul - RS.**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado, como requisito parcial, para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Hídrica, Curso de Engenharia Hídrica, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 30 de junho de 2021.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Felipe de Lucia Lobo (Orientador), Mestre em Sensoriamento remoto no INPE e Doutor em Geografia pela Universidade de Victoria (Canadá).

Prof^a. Dra. Idel Cristiana Bigliardi Milani, Mestre em Engenharia Oceânica e Doutora em Oceanografia Química, Física e Geológica pela Universidade Federal de Rio Grande.

Prof^a. Dra. Viviane Santos Silva Terra, Doutora em agronomia pela Universidade Federal de Pelotas - UFPEL.

Este trabalho é todo dedicado
aos meus pais, pois é graças
ao seu esforço que hoje
posso concluir o meu curso.

Agradecimentos

Agradeço a Deus pela vida, pela saúde e por me possibilitar completar esta importante jornada.

A meus pais Ilzani Vasconcellos Sinotti e Rogério Luiz Klug Sinotti, irmãos Rafaela, Gabriela e Rodrigo pelo apoio e incentivo nos estudos.

À minha noiva Larissa Scarmin Alves pelo amor e carinho cotidiano, sempre se mostrando eficiente, paciente e colaborando desde o início para a conclusão desta etapa.

Ao Professor orientador Dr. Felipe de Lucia Lobo, que me apresentou a área das Geotecnologias e me concedeu muito conhecimento, com sua disponibilidade e incentivo que foram essenciais para realizar e prosseguir no desenvolvimento deste trabalho. À professora Dra. Idel Milani por me apoiar inúmeras vezes em estudos relacionados à qualidade da água e projetos voltados à educação ambiental. À professora Dra. Viviane Terra pelo apoio nos estudos e na jornada com o grupo PET-EH. A todos os professores da Engenharia Hídrica, que juntos sempre procuraram ensinar da melhor forma possível.

Ao engenheiro Rossano Belladonna e toda equipe da SAMAE pela parceria com informações importantes para este estudo.

Aos todos meus colegas, em especial aos colegas Edgar Ramalho e Larissa Santos, por compartilharem comigo tantos momentos de descobertas e aprendizado e por todo o companheirismo ao longo deste percurso.

Aos amigos Diogo Elzinga e Diana Piccati pelas fotos aéreas.

Ao amigo Lucas Marcon pela parceria em muitos momentos desta jornada.

Aos meu primo Bruno Lopes pelo apoio em muitos momentos deste trabalho.

E a todos amigos e parentes que mesmo de longe me ajudaram em importantes etapas desta caminhada.

A FAPERGS –(Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul) por me proporcionar bolsa de pesquisa durante este período de estudos.

Os meus sinceros agradecimentos e muito obrigado a todos.

Resumo

SINOTTI, Juliano Vasconcellos. **Avaliação da qualidade ambiental e da expansão de macrófitas aquáticas em represas do Município de Caxias do Sul - RS.2021.**

71f. Monografia (Engenharia Hídrica), Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2021.

Neste trabalho foi realizada uma avaliação ambiental das bacias de captação e da qualidade da água nas represas que atendem o abastecimento público na cidade de Caxias do Sul -RS a fim de compreender a relação com a proliferação de macrófitas aquáticas, juntamente com *blooms* de cianobactérias, em uma série temporal através de instrumentos e ferramentas de geotecnologias. Com o uso da plataforma *Google Earth Engine* foi possível classificar cada represa em três categorias (Macrófitas, cianobactérias ou Lago) nos anos de 2013 a 2019 utilizando técnicas de sensoriamento remoto, aplicando índices espectrais de NDVI e NDWI em imagens de satélite *Landsat 8 OLI / TIRS*. Através do método utilizado neste trabalho foi possível verificar a eficiência das medições de reflectância como forma a distinguir florações de macrófitas aquáticas de cianobactérias e de lago usando sensores de satélite. A partir dos dados de imagens de satélite e resultados de qualidade da água, verificou-se que cada bacia de captação de água apresentou situações ambientais características da sua região. As represas separadas nas três categorias, foram investigadas quanto aos resultados de fitoplâncton coletados pela SAMAE, com o objetivo de compreender a relação entre as categorias de plantas aquáticas e cianobactérias presentes em cada represa.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto; Macrófitas aquáticas; *Google Earth Engine*.

Abstract

SINOTTI, Juliano Vasconcellos. **Assessment of environmental quality and expansion of aquatic macrophytes in dams in the municipality of Caxias do Sul-RS.2021.** 71 f. Bachelor's thesis – Bachelor in Water Engineering, Center for Technological Development, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2021.

In this work, an environmental assessment of the catchment basins and of the water quality in the dams that serve the public supply in the city of Caxias do Sul - RS was carried out in order to understand the relationship with the proliferation of aquatic macrophytes, together with cyanobacterial blooms, in a time series through geotechnology instruments and tools. Using the Google Earth Engine platform, it was possible to classify each dam into three categories (Macrophytes, Cyanobacteria or Lake) from 2013 to 2019 using remote sensing techniques, applying NDVI and NDWI spectral indices to Landsat 8 OLI satellite images / TIRS Through the method used in this work, it was possible to verify whether reflectance measurements were really effective methods to distinguish aquatic macrophytes from cyanobacteria and lake blooms using satellite sensors. From satellite image data and limnological field sample data, it was found that each water catchment basin presented environmental situations characteristic of its region. The dams that showed predominance by class, were investigated samples of phytoplankton collected in the days close to the satellite dates, trying to understand the relationship between the categories of aquatic plants and cyanobacteria present in each dam.

Key-words: Remote Sensing, Water Resources, *Google Earth Engine*.

Lista de Figuras

Figura 1 -	Represas no Município de Caxias do Sul – RS.	18
Figura 2 -	Localização da área de estudo.....	19
Figura 3 -	Represa Marrecas.....	19
Figura 4 -	Represa Faxinal.....	20
Figura 5 -	Represa Maestra.....	21
Figura 6 -	Represa São Paulo.....	22
Figura 7 -	Represa São Pedro.....	22
Figura 8 -	Represa São Miguel.....	23
Figura 9 -	Represa Samuara.....	23
Figura 10 -	Plataforma <i>Google Earth Engine</i>	26
Figura 11 -	Floração de macrófitas aquáticas observadas. (a) <i>Eichhornia crassipes</i> (b) <i>Salvinia Auriculata</i>	27
Figura 12 -	Floração de cianobactérias.....	28
Figura 13 -	Fluxograma do procedimento adotado para estudo.....	32
Figura 14 -	Pontos amostrais das represas de Caxias do Sul – RS.....	36
Figura 15 -	Fluxograma árvore de decisão.....	38
Figura 16 -	Acurácia visual.....	39
Figura 17 -	Mapa do uso e ocupação do solo nas bacias de captação.....	40
Figura 18 -	Temperatura das represas de Caxias do Sul.....	43
Figura 19 -	Turbidez das represas de Caxias do Sul.....	44
Figura 20 -	pH das represas de Caxias do Sul.....	44
Figura 21 -	Oxigênio Dissolvido das represas de Caxias do Sul.	45
Figura 22 -	Amônio das represas de Caxias do Sul.....	46
Figura 23 -	Nitritos das represas de Caxias do Sul.....	47
Figura 24 -	Nitratos das represas de Caxias do Sul.....	48
Figura 25 -	Fosfatos das represas de Caxias do Sul.....	49
Figura 26 -	Valores de NDVI para as represas do Complexo Dal Bó.....	51
Figura 27 -	Valores de NDWI para as represas do Complexo Dal Bó.....	51
Figura 28 -	Índice Macrófita para as represas do Complexo Dal Bó.....	52
Figura 29 -	Contagem de imagens por classe para Marrecas: Lago-13, Ciano-5, Macrófita-1.....	54
Figura 30 -	Classificação para represa Marrecas: (a)Lago; (b)R(4)G(5)B(6)...	54

Figura 31 - Contagem de imagens por classe para represa Faxinal: Lago-3, Ciano-1, Macrófita-6.....	55
Figura 32 - Classificação para Represa Faxinal: (a) Macrófita; (b)R(4)G(5)B(6).....	55
Figura 33 - Contagem de imagens por classe para represa Maestra: Lago-7, Ciano-5, Macrófita-2.....	56
Figura 34 - Classificação para Maestra: (a) Ciano; (b)R(4)G(5)B(6).....	56
Figura 35 - Contagem de imagens por classe para represa São Paulo: Ciano-2, Macrófita-7.....	57
Figura 36 - Classificação para represa São Paulo: (a) Macrófita; (b)R(4)G(5)B(6).....	57
Figura 37 - Contagem de imagens por classe para represa São Pedro: Ciano-2, Macrófita.....	58
Figura 38 - Classificação para represas São Pedro: (a) Macrófita; (b)R(4)G(5)B(6).....	58
Figura 39 - Contagem de imagens por classe para represa São Miguel: Ciano-9, Macrófita-7.....	59
Figura 40 - Classificação para represa São Miguel: (a) Ciano; (b)R(4)G(5)B(6).....	59
Figura 41 - Contagem de imagens por classe para a represa Samuara: Lago-4, Ciano-7, Macrófita-2.....	60
Figura 42 - Classificação para represa Samuara: (a) Lago; (b)R(4)G(5)B(6).....	60
Figura 43 - Datas de imagens de satélite <i>Landsat 8</i> : (24/04/2013-a), (29/07/2013-b), (30/08/2013-c), (18/11/2013-de), (04/12/2013 e), (20/12/2013-f). Composição R(4)G(5)B(6).....	70
Figura 44 - Datas de imagens de satélite <i>Landsat 8</i> : (24/03/2019-a), (09/04/2019-b), (30/07/2019-c), (15/08/2019-d), (16/09/2019-e), (19/11/2019-f). Composição R(4)G(5)B(6).....	71

Lista de Abreviaturas e Siglas

cm	Centímetro
GEE	<i>Google Earth Engine</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
km	Quilômetro
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NDVI	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
NDWI	Índice da Água de Diferença Normalizada
NTU	<i>Nephelometric Turbidity Unity</i>
OLI	<i>Operational Land Imager</i>
PB	<i>Petabyte</i>
pH	Potencial de hidrogeniônico
SAMAE	Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto
SR	Sensoriamento Remoto
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
TIRS	<i>Thermal Infrared Sensor</i>
USGS	Serviço Geológico dos Estados Unidos

Lista de tabelas

Tabela 1	Materiais e métodos utilizados para estudo.....	30
Tabela 2	Características das imagens orbitais dos sensores OLI e TIRS do satélite <i>Landsat 8</i>	34
Tabela 3	Pontos de localização de <i>buffers</i>	35
Tabela 4	Intervalos observados de refletância TM derivada de satélite e índices selecionados para a água do lago, flores de cianobactérias e macrófitas aquáticas.....	38
Tabela 5	Imagens utilizadas para acurácia visual.....	39
Tabela 6	Uso de Ocupação do Solo 2013 nas bacias de captação de Caxias do Sul-RS.....	41
Tabela 7	Uso de Ocupação do Solo 2019 nas bacias de captação de Caxias do Sul-RS	41
Tabela 8	Avaliações ambientais das bacias de captação e represas de Caxias do Sul-RS nos períodos de 2013 a 2019	49
Tabela 9	Imagens quantificadas nos anos 2013 e 2019 para classe macrófita.....	52
Tabela 10	Porcentagem de observações mensais entre 2013 á 2019.....	53
Tabela 11	Datas das represas por classificação: Lago – Ciano – Macrófita...	67
Tabela 12	Uso de Ocupação do Solo 2013 (em ha) nas bacias de captação de Caxias do Sul-RS.....	68
Tabela 13	Uso de Ocupação do Solo 2019 (em ha) nas bacias de captação de Caxias do Sul-RS.....	68
Tabela 14	Contagem de fitoplâncton por represa em Caxias do Sul.....	69

Sumário

1. Introdução.....	15
2. Objetivos.....	17
2.1 Objetivo geral.....	17
2.2 Objetivo específico.....	17
3. Revisão Bibliográfica.....	18
3.1 Município de Caxias do Sul.....	18
3.2 Sensoriamento remoto.....	24
3.3 <i>Landsat 8</i>	25
3.4 <i>Google Earth Engine</i>	25
3.5 Macrófitas.....	26
3.6 Cianobactérias.....	27
3.7 Fitoplâncton.....	28
3.8 NDVI – NDWI	28
4. Metodologia.....	29
4.1 Materiais e métodos.....	29
4.1.1 Materiais.....	30
4.1.2 Métodos.....	31
4.2 Uso e cobertura do solo.....	32
4.3 Dados de qualidade da água.....	33
4.4 Imagens de satélite <i>Landsat 8</i>	33
4.5 Pontos amostrais.....	35
4.6 NDVI.....	36
4.7 NDWI.....	37
4.8 Árvore de decisão.....	37
4.9 Dados de fitoplâncton.....	39
5. Resultados e Discussão.....	40
5.1 Uso e ocupação do solo das bacias de captação.....	40
5.2 Parâmetros de qualidade da água.....	42
5.2.1 Temperatura.....	42
5.2.2 Turbidez.....	43
5.2.3 pH.....	44
5.2.4 Oxigênio dissolvido.....	45
5.2.5 Amônio.....	45
5.2.6 Nitrito.....	46

5.2.7 Nitrato.....	47
5.2.8 Fosfatos.....	48
5.3 Avaliação ambiental.....	49
5.4 Índice NDVI – NDWI.....	50
5.5 Árvore de decisão.....	51
5.6 Índice macrófita.....	52
5.7 Classificação.....	53
6. Conclusão.....	61
7. Recomendações.....	63
8. Referências Bibliográficas.....	63
Apêndices	

1. Introdução

A água, sendo um recurso natural, constitui um papel essencial na manutenção da vida no mundo. Nas últimas décadas, sistemas de represas/barragem de acumulação são cada vez mais utilizados para o represamento de grandes quantidades de água como forma de suprir a crescente demanda econômica e as necessidades básicas da população (BRASIL, 2005). O monitoramento desses recursos hídricos é indispensável, pois a poluição destes espaços abrange uma série de fatores negativos (CORADI *et al.*, 2009).

No Brasil, a qualidade da água de corpos hídricos incluindo as represas seguem diretrizes baseadas na Resolução do CONAMA Nº 357/05 a qual define a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento; dependendo da quantidade de substâncias nocivas e tóxicas que alteram significativamente as características físicas, químicas e biológicas do corpo hídrico pode inviabilizar sua utilização.

Um dos problemas recorrentes em represas para abastecimento de água no Brasil, é o crescimento elevado de macrófitas aquáticas e cianobactérias que pode afetar os múltiplos usos de ecossistemas aquáticos, causando dificuldades na captação e tratamento da água, podendo comprometer também as atividades de navegação, pesca e lazer e elevando os custos do tratamento da água (REN & ZHANG, 2007).

A legislação brasileira exige o monitoramento com coleta de dados da qualidade da água em corpos hídricos, porém, o espaçamento temporal, o elevado custo das análises podem ser um grande problema. Mediante toda a problemática causada pela poluição em represas, o monitoramento contínuo se faz cada vez mais necessário. Uma forma alternativa pode ser realizada por meio de ferramentas remotas que viabilizam as análises e compreensões das mudanças ocorrentes no ecossistema aquático, facilitando a tomada de decisões e mitigando os efeitos negativos causados pela poluição em represas. O sensoriamento remoto é uma opção de ferramenta remota de extrema importância para o monitoramento de lagos e represas, quando não é possível analisar regiões de grandes superfícies *in loco* (STRAŠKRABA *et al.*, 2013).

A área de estudo para elaboração deste trabalho abrange as represas que atendem o abastecimento da cidade de Caxias do Sul (RS), na região do Complexo Dal Bó, que apresentam grandes índices de proliferação de macrófitas aquáticas sendo identificadas com frequência as espécies *Eichhornia crassipes* e a *Saulvinia*

Ariculata juntamente com *blooms* de cianobactérias. Oyahma (2015) demonstrou em seu estudo que é possível distinguir florações de cianobactérias e macrófitas aquáticas por meio de medições espectrais usando imagens de satélite *Landsat 8*.

O presente trabalho foi proposto o monitoramento dos recursos hídricos através de instrumentos e ferramentas de geotecnologias. Com o uso da plataforma *Google Earth Engine* foi possível identificar e analisar a presença de macrófitas aquáticas em sete represas de Caxias do Sul (RS) em uma série temporal de 2013 a 2019 aplicando índices espectrais de NDVI e NDWI em imagens de satélite *Landsat 8* OLI/TIRS. Os dados de imagens de satélite foram cruzados com os principais pontos de coleta de resultados de amostra de qualidade da água coletados em campo fornecidos pelo Serviço de Abastecimento Municipal de Água e Esgoto (SAMAEE) de Caxias do Sul.

2. Objetivos

2.1 Objetivo geral

Caracterizar as condições ambientais das represas de abastecimento público do município de Caxias do Sul-RS como forma a compreender a ocorrência espaço/temporal de macrófitas aquáticas.

2.2 Objetivos específicos

- Realizar uma caracterização ambiental das represas a partir de dados limnológicos.
- Descrever o uso e ocupação do solo das bacias de captação.
- Analisar a distribuição de macrófitas aquáticas nos períodos de 2013 a 2019 utilizando técnicas de sensoriamento remoto através da plataforma *Google Earth Engine*.

3. Revisão bibliográfica

3.1 Município de Caxias do Sul

Localizado no Noroeste do estado do Rio Grande do Sul, o município de Caxias do Sul possui mais de meio milhão de habitantes e alavancou-se por meio do trabalho da imigração italiana (IBGE, 2010). Atualmente é considerada uma das maiores cidades do estado, favorita das empresas que procuram a região em busca do desenvolvimento industrial organizado, além de apresentar uma consciência social e ambiental estruturada. A cidade de Caxias do Sul possui represas distribuídas ao longo de seu território que atendem significativamente o abastecimento público com água tratada. Dentre elas destacam-se: Marrecas, Faxinal, Maestra, Complexo Dal Bó (São Paulo, São Pedro, São Miguel) e Samuara (Figura 1).

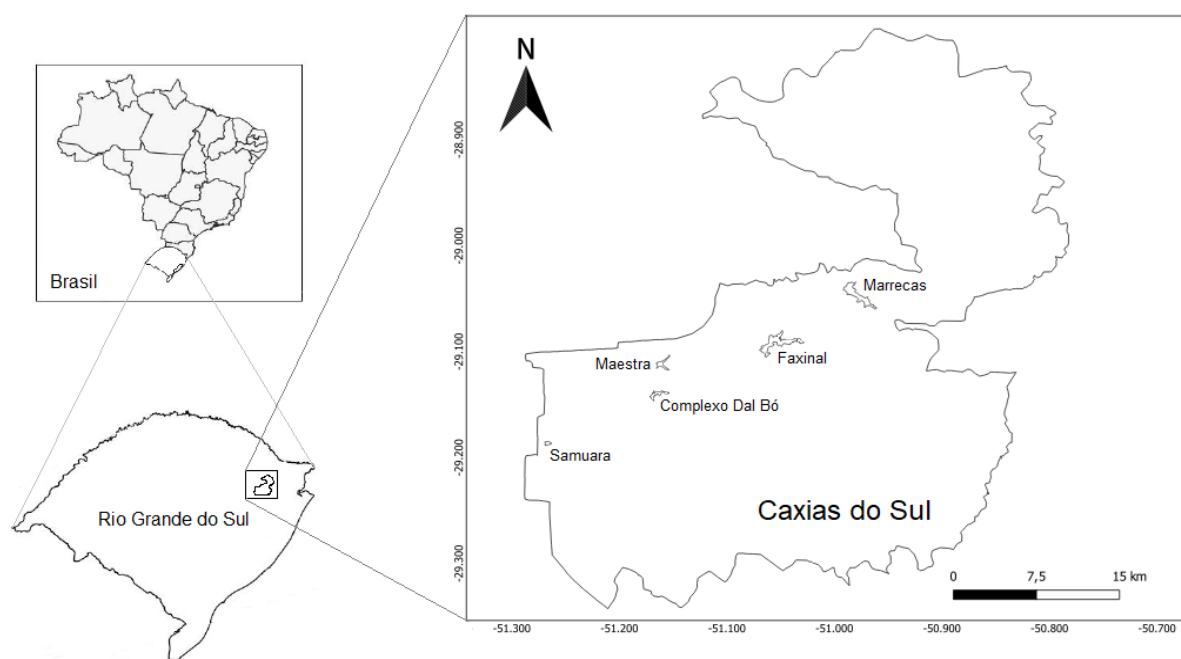


Figura 1: Represas no Município de Caxias do Sul – RS.

A cidade de Caxias do Sul está localizada entre as coordenadas geográficas de 51 ° 18'00 "W-50 ° 42'00" W e 29 ° 20'00 "S-28 ° 48'00" S , sob a Bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas e a Bacia Hidrográfica do Rio Caí que juntas contemplam a Bacia Hidrográfica do Guaíba (Figura 2). Os rios que integram as bacias de captação do município recebem seus respectivos nomes, sendo eles: Piaí, Mulada, Marrecas, Sepultura, Faxinal e Maestra.

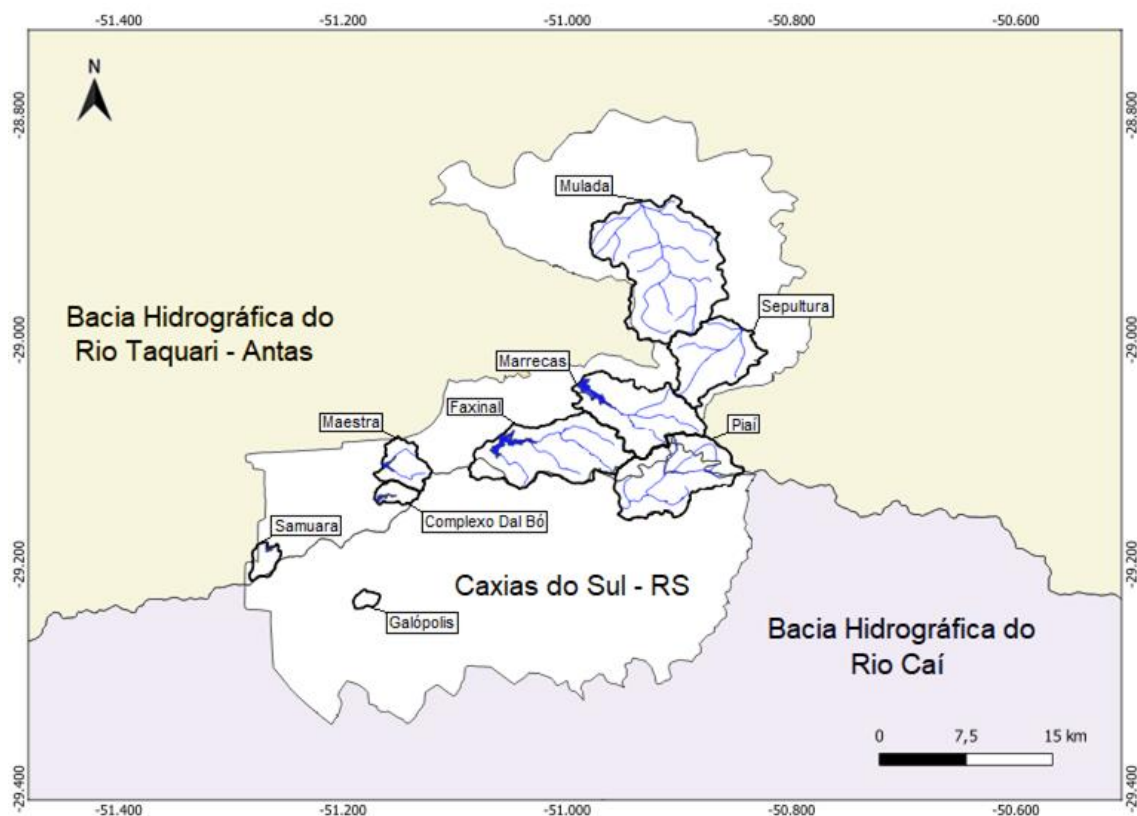


Figura 2. Localização da área de estudo.

A represa Marrecas (Figura 3) tem capacidade de armazenamento de 29.950.375,9 metros cúbicos de água e a vazão inicial estimada em 900 litros de água encanada por segundo, contendo zona de inundação de 215 hectares. O Sistema Marrecas foi inaugurado em 2013 e abastece com água cerca de 70 mil pessoas das regiões norte e nordeste de Caxias do Sul (SMAE, 2021).



Figura 3: Represa Marrecas.

A represa do Faxinal (Figura 4) tem área alagada de 248 hectares e capacidade de armazenamento de 24.851.436,6 metros cúbicos de água. Possui barragem do tipo Enrocamento núcleo de argila, com uma altura de 30 metros e comprimento de 305 metros é capaz de captar 1.100 litros de água encanada por segundo. A Barragem do Faxinal foi inaugurada em 1992 e é a principal fonte de abastecimento do município de Caxias do Sul, que hoje abastece 64% da população da cidade (SAMAE, 2021).



Figura 4: Represa Faxinal.

A represa Maestra (Figura 5) possui uma área de 1.526 hectares com área alagada de 48,7 hectares e um volume de 4.996.849,8 metros cúbicos de água. Com tipo de barragem sendo Enrocamento Terra Zoneada, possuindo uma altura de 27 metros, com comprimento de 330 metros sendo capaz de captar 325 litros de água encanada por segundo. A represa Maestra foi inaugurada em 1971 e abastece 22% da população de Caxias do Sul (SAMAE, 2021).



Figura 5: Represa Maestra.

As represas do Complexo Dal Bó juntas possuem área de 642,8 hectares, com área alagada de 45,9 hectares e um volume de 1.903.893,5 metros cúbicos de água capaz de captar 80 litros de água encanada por segundo. O Complexo Dal Bó abastece atualmente cerca de 9% da população de Caxias do Sul e foi construído em quatro fases. Em 1928, foi construída a Barragem de São Miguel, cuja altura no ano de 1937 foi aumentada em dois metros. Então, em 1942, foi inaugurada a Barragem São Pedro, e em 1952 o complexo adquiriu a construção da barragem São Paulo (SAMAE, 2021).

A represa São Paulo (Figura 6), com área alagada de 5,5 hectares possui um volume de 205.811,9 metros cúbicos de água com tipo de barragem sendo Alvenaria de Pedra, possuindo uma altura de 7,5 metros, com comprimento de 150,8 metros (SAMAE, 2021).



Figura 6: Represa São Paulo.

A represa São Pedro (Figura 7), possui área alagada de 14,5 hectares com um volume de 411.405,3 metros cúbicos de água e tipo de barragem sendo Alvenaria de Pedra, possuindo uma altura de 7,7 metros, com comprimento de 101 metros (SAMAE, 2021).

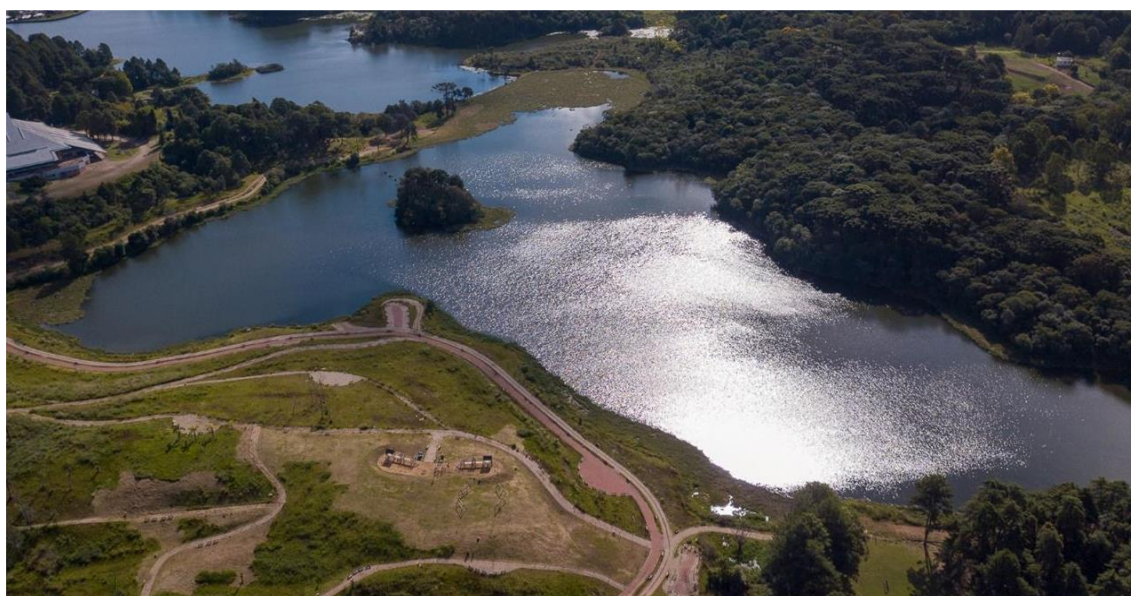


Figura 7: Represa São Pedro.

A represa São Miguel (Figura 8), com área alagada de 25,9 hectares possui um volume de 1.286.676,3 metros cúbicos de água com tipo de barragem de Alvenaria de Pedra, possuindo uma altura de 11,8 metros, com comprimento de 418 metros (SAMAE, 2021).



Figura 8: Represa São Miguel.

A represa do Samuara (Figura 9) com área alagada de 19,1 hectares possui um volume de 728.104,9 metros cúbicos de água com tipo de barragem sendo Terra, inauguração 1957 possuindo uma altura de 7 metros, com comprimento de 147 metros sendo capaz de captar 38 litros de água encanada por segundo. Inaugurada em 1957, a barragem atualmente abastece 4 % da população de Caxias do Sul (SAMAE, 2021).



Figura 9: Represa Samuara.

O supercrescimento de algas em represas, mediado principalmente por aumentos de nutrientes nas fontes de fósforo e nitrogênio, é uma condição que pode levar a possíveis alterações no sabor e no odor da água tratada. A reportagem do dia

12/06/2014, no jornal Pioneiro, um dos mais lidos do município, comenta sobre as represas do município de Caxias do Sul estarem tomadas por plantas aquáticas (RIGON, 2014).

Para garantir a qualidade da água destinada ao tratamento, a SAMAE realiza monitoramento das represas de captação conforme requisitos conforme a Resolução Conama nº 357/2005. Além disso, ocorre um monitoramento do uso e ocupação do solo nas áreas de bacias de captação do município. Nas estações de tratamento de água (ETAs) são realizadas em torno de 435.000 análises por ano em laboratórios de controle operacionais (LCO) das ETAs, incluindo análises relativas as etapas do processo de tratamento de água.

3.2 Sensoriamento remoto

Uma alternativa para realizar e potencializar o monitoramento dos recursos hídricos é através de técnicas de Sensoriamento Remoto (SR) que baseiam-se em um procedimento de influência entre a radiação eletromagnética e os diversos instrumentos que se procura entender. A aplicabilidade desses procedimentos é possibilitada por meio do desempenho de vários estágios que abrangem as influências em si, representada sobretudo pelo efeito de reflexão da radiação, arrecadação de dados e informações por meio de um sensor e a verificação destes dados com o intuito de coletar as informações pretendidas de um objeto em específico. O critério pelo uso do sensoriamento remoto em diversas aplicações vem conquistando novos usuários nos estudos em Sistemas de Informações Geográficas (SIG), visto a dimensão que novos sensores e satélites são lançados.

O geoprocessamento, com o uso de diversas informações e dados, favorece identificar, interagir e interpretar os eventos geográficos, sintetizando a tendência das análises e proporcionando mais satisfatoriamente a explicação dos resultados em formato de mapas (JENSEN, 2009). Conforme Ponzoni, (2012) o Sensoriamento Remoto empregado a análises de vegetação, conforme a absorção da radiação eletromagnética e a sua reflectância no meio do espectro eletromagnético está inteiramente relacionada à atividade fotossintética dos vegetais. Segundo CAMPS-VALLS *et al.*, (2011) com a crescente disponibilidade de séries temporais de imagens e o interesse de observar as mudanças do mundo em escalas local e global, a classificação multi-temporal e a identificação de variações nos estudos de Sensoriamento Remoto vieram a ser uma área de grande atividade de pesquisa.

Ultimamente, muitos pesquisadores aperfeiçoam o uso de sensoriamento remoto, a fim de produzir resultados satisfatórios em suas pesquisas, mapeando ocorrências de macrófitas e estudando sistemas aquáticos continentais (SILVA *et al.*, 2010).

3.3 Landsat 8

O satélite *Landsat 8* foi lançado em 11 de fevereiro de 2013 e está coletando imagens e dados valiosos usados na agricultura, educação, negócios, ciência e governo. Este satélite traz algumas notícias importantes para usuários que precisam de mapas de mesoescala (como o Brasil). O *Landsat 8* possui dois novos sensores sendo eles o sensor espectral OLI (*Operational Land Imager*) e o sensor TIRS (*Thermal Infrared Sensor*). Os sensores OLI e TIRS coletam dados juntos para fornecer imagens correspondentes da superfície da Terra, incluindo regiões costeiras de gelo polar, ilhas e regiões continentais. O *Landsat 8* gira em torno da Terra em uma órbita quase polar sincronizada com o Sol, a uma altitude de 705 quilômetros com o período de repetição de 16 dias e adquire cerca de 740 cenas diariamente. O tamanho da cena do *Landsat 8* é 185 km x 180 km (USGS, 2021).

3.4 Google Earth Engine

O *Google Earth Engine* (Figura 10) é uma plataforma de processamento geoespacial baseada em nuvem que pode acessar e analisar com eficácia um grande número de fontes de dados geoespaciais (nível PB) de servidores do *Google* (como imagens de sensoriamento remoto *Landsat*, *MODIS*, *Sentinel* e entre outros) em um curto período de tempo e em um computador até mesmo com baixa capacidade de processamento (GORELICK *et al.*, 2017).

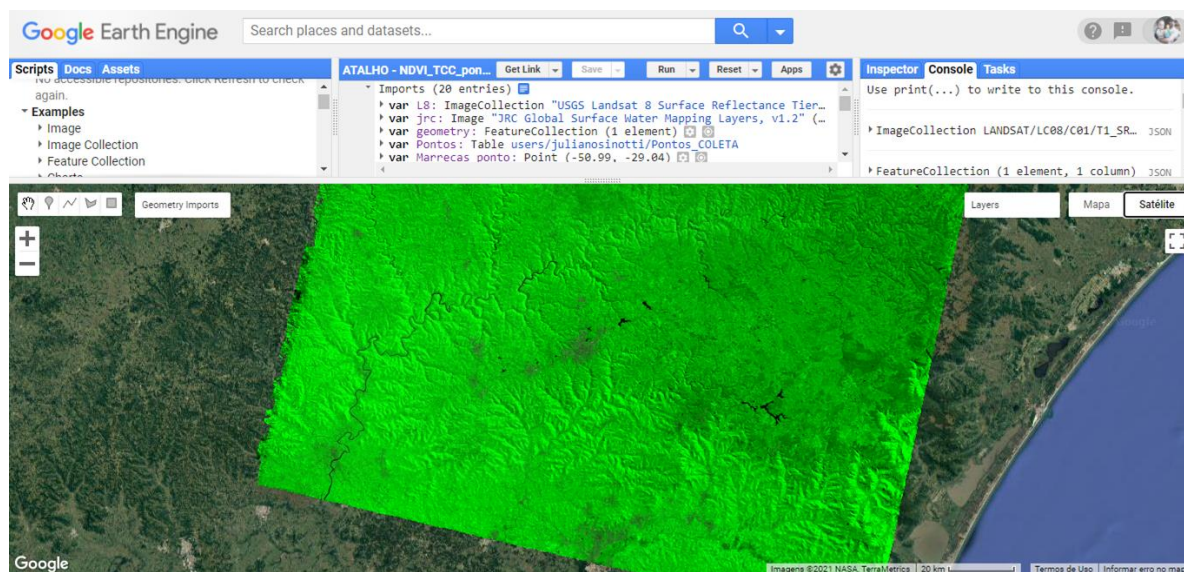


Figura 10: Plataforma *Google Earth Engine*.

A plataforma *GEE* desenvolvida pelo *Google*, é adequada para diversos estudos e vem se tornando uma ferramenta inovadora no processamento de sensoriamento remoto (HOROWITZ, 2015). Essa ferramenta pode realizar análises multi-espaco-temporais de maneira rápida e eficaz por meio das linguagens de programação *JavaScript* e *Python* (FERREIRA *et al.*, 2017). Com uma grande quantidade de dados geoespaciais atualizados continuamente e poderosos recursos de computação, a *GEE* pode lidar com vários dados sociais e ambientais com impactos significativos, como desmatamento, seca, desastres, doenças, segurança alimentar, gestão da água, monitoramento do clima e proteção ambiental (DUONG *et al.*, 2018). Ela também permite que usuários e pesquisadores divulguem facilmente seus resultados para outros pesquisadores, legisladores, trabalhadores de campo e o público em geral (GORELICK *et al.*, 2017).

Além de um grande número de imagens de séries temporais de diferentes sensores, a *GEE* também fornece um conjunto de classificadores *pixel a pixel* atuais que podem ser usados para mapear recursos de solo e água.

3.5 Macrófitas

As macrófitas ou plantas aquáticas são vegetais que vivem no sistema aquático continental e apresentam folhas submersas, flutuantes ou emergentes. O aumento da eutrofização e da produtividade está relacionado às mudanças nas propriedades ópticas dos corpos d'água. Quando o teor dos nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo aumenta, a composição da água sofre algumas alterações, levando à eutrofização, causando o crescimento excessivo de plantas aquáticas no espelho

d'água (DINIZ *et al.*, 2005). O monitoramento regular das plantas aquáticas pode avaliar a evolução das comunidades e determinar o potencial de danos associados a essas populações. Algumas medidas paliativas têm sido adotadas em represas para evitar a reprodução em larga escala de grandes plantas, como retirá-las, porém, para grandes represas essa abordagem pode não ser viável (WALLACE *et al.*, 2006).



Figura 11. Floração de macrófitas aquáticas. (a) *Eichhornia crassipes*
(b) *Salvinia Auriculata*.

O aguapé (*Eichhornia crassipes*) é uma planta aquática (Figura 11-a) tropical que existe em várias águas tropicais e cresce ao longo do ano devido à presença de luz e temperatura (POMPÊO, 2017). Aparece principalmente em rios, lagos profundos e rasos, preferencialmente no fundo lamacento, por conter mais matéria orgânica (LOSCHIAVO, 2017). Seu desenvolvimento ocorre principalmente em condições em que a temperatura está entre 17 °C e 30 °C e o valor do pH está entre 6,0 e 7,5, sob o qual uma camada densa se formará na superfície da água (OLIVEIRA JÚNIOR, 2011).

Salvinia (*Salviniaceae* sp.) é uma samambaia flutuante (Figura 11-b) composta principalmente por um sistema de germinação. O módulo básico de morfologia é um ramo. Essas plantas podem chegar de 3 a 15 cm de comprimento, com rizomas cilíndricos e três folhas em cada redondo. Elas crescem rapidamente, formam densos povoamentos florestais em lagoas, canais e pântanos, e vivem em climas tropicais ou temperados (CORDAZZO *et al.*, 1988).

3.6 Cianobactérias

Cianobactérias são microrganismos aeróbicos fotoautotróficos. Seus principais processos metabólicos requerem apenas água, dióxido de carbono, substâncias inorgânicas e luz. Nos ecossistemas aquáticos continentais de muitos países, a reprodução de cianobactérias potencialmente tóxicas é um fenômeno comum

(CHORUS *et al.*, 1999).

Um dos principais problemas com o aumento do florescimento de cianobactérias (Figura 12) em corpos d'água é a capacidade desses microrganismos de produzir e liberar toxinas na água. Essas substâncias podem afetar os múltiplos usos da água como, por exemplo, impedindo a entrada da luz, reduzindo a atividade fotossintética ao longo da coluna de água, diminuindo os teores de oxigênio dissolvido na água, aumento da toxicidade pela redução da atividade de oxidação de poluentes, redução da biodiversidade aquática, redução do metabolismo pela redução da temperatura da água, afetar a saúde humana por meio de água potável e atividades recreativas (CONAMA, 2005).



Figura 12. Floração de cianobactérias. Fonte: (Oyahma, 2015)

3.7 Fitoplâncton

O fitoplâncton é um grupo heterogêneo de microrganismos fotossintéticos (algas, cianobactérias e algumas bactérias) que residem parcial ou continuamente em lagos e represas. Aproximadamente já foi identificado cerca de quatro mil espécies de fitoplâncton marinho e, possivelmente, haja um número aproximado para o fitoplâncton de corpos de água continentais (REYNOLDS, 2006). Visto que a composição dos biomas fitoplanctônicos afeta o funcionamento dos ecossistemas aquáticos, é importante saber quais fatores regulam sua dinâmica.

3.8 NDVI – NDWI

O NDVI é baseado no comportamento antagônico das bandas do vermelho e do infravermelho próximo que aparecem na reflectância das plantas. Quanto maior a densidade da vegetação em uma determinada área, menor a refletividade da área visível (vermelho) e maior a refletividade da área do infravermelho próximo (PONZONI & SHIMABUKURO, 2007). O valor de NDVI varia de -1 a 1, onde um valor próximo a

1 indica uma maior densidade de cobertura da vegetação. O valor negativo da água é próximo a -1 porque o valor de refletividade da banda 3 é maior que o da banda 4. A vegetação esparsa representa um valor positivo, mas não muito alto (MELO, 2011).

O NDWI é derivado dos canais do infravermelho próximo (NIR) e infravermelho médio (SWIR). Como o infravermelho médio é mais sensível à quantidade de água presente na vegetação e no solo, mais água é absorvida pela umidade das folhas e do dossel, o que permite traçar um mapa das mudanças na cobertura florestal.

O NDWI pode destacar áreas com alto teor de umidade e baixa umidade e vem sendo um método usado principalmente para representar recursos hídricos na superfície por meio de imagens multiespectrais de sensores remotos, destacando esses corpos d'água relacionados a alvos de solo e vegetação terrestre. O Índice da Água de Diferença Normalizada é projetado para determinar o limite entre água, vegetação e solo.

4. METODOLOGIA

4.1 Materiais e Métodos

Para atingir os objetivos desta pesquisa, a metodologia está organizada da seguinte forma:

i) Inicialmente foi definido como região de estudo as bacias de captação do município de Caxias do Sul, utilizando como critério principal as represas onde existem barramentos para represamento de água para abastecimento público, sendo elas: Marrecas, Faxinal, Maestra, Complexo Dal Bó e Samuara. Após definidas as regiões foi analisado o Mapa de Uso e Ocupação do Solo nos períodos de 2013 e 2019 de cada bacia de captação.

ii) Em seguida foi realizada uma análise dos resultados da qualidade da água com dados limnológicos fornecidos pela companhia de saneamento da região em uma série temporal de 2013 a 2019. Os resultados de qualidade da água avaliados foram: Temperatura, Turbidez, pH, Oxigênio Dissolvido, Amônio, Nitritos, Nitratos e Fosfatos. Os dados foram reorganizados e selecionados em um arquivo compatível com a plataforma *Google Colaboratory* que opera em linguagem de programação *Python*. Através de *scripts* de funções inseridas na plataforma foi possível construir gráficos e gerar informações estatísticas para as represas: Marrecas, Faxinal, Maestra, São Paulo, São Pedro, São Miguel e Samuara.

iii) Através de técnicas de sensoriamento remoto e com o uso da plataforma

Google Earth Engine foi possível inserir os pontos para coletar os índices de NDVI e NDWI nas coleções de imagens do satélite *Landsat 8 OLI / TIRS* em uma série temporal de 2013 a 2019 no mesmo local onde são realizadas as coletas de amostras de campo. Posteriormente, com os dados de índices de NDVI e NDWI foi gerada a árvore de decisão na plataforma do *GEE* permitindo classificar às sete represas em: Lago, Ciano ou Macrófita.

iv) Em seguida as datas das imagens de satélite já classificadas foram cruzadas com as datas dos resultados de dados de fitoplâncton permitindo avaliar com maior precisão os pontos amostrais. Os resultados deste estudo foram apresentados em um produto final com gráficos e imagens de satélite.

4.1.1 Materiais

O Serviço de Abastecimento Municipal de Água e Esgoto (SAMAE) de Caxias do Sul colaborou com o presente estudo, fornecendo resultados de qualidade da água referentes aos anos de 2004 a 2019 (Tabela 1) com arquivo em *Shapefile* das bacias de captação das represas do município. Os dados foram obtidos através dos relatórios periódicos mensais da SAMAE, permitindo uma interpretação confiável da atual situação da qualidade da água dos corpos hídricos no município de Caxias do Sul (RS).

Com a plataforma da *Google Earth Engine*, foi possível captar as imagens da coleção do *Landsat 8*, “*USGS Landsat 8 Surface Reflectance Tier 1*” entre 01/01/2013 até 31/12/2019 e inserir as funções de NDVI e NDWI para obter informações através de arquivo.

Tabela 1: Materiais e métodos utilizados no estudo.

Descrição	Dados	Fonte	Operação
<i>Shapefile</i>	Limite Bacias Hidrográficas das represas.	SAMAE	Definir limites da área de estudo e extrair informações para análise de uso e ocupação do solo.
<i>Shapefile</i>	Cursos Hídricos.	FEPAM	Delimitar os cursos hídricos nas bacias de captação no município de Caxias do Sul.
Limnológico	Temperatura, Turbidez, pH, Oxigênio Dissolvido, Amônio, Nitritos, Nitratos e Fosfatos.	SAMAE	Identificar e quantificar a condição limnológica da água para cada represa.

Fitoplâncton	Classes: <i>Bacillariophyceae</i> , <i>Chlamydomonadophyceae</i> , <i>Chlorophyceae</i> , <i>Chrysophyceae</i> , <i>Cryptophyceae</i> , <i>Cyanobacteria</i> , <i>Dinophyceae</i> , <i>Euglenophyceae</i> , <i>Raphidophyceae</i> , <i>Xanthophyceae</i> , <i>Zygnemaphyceae</i> .	SAMAE	Identificar e quantificar a presença de teores de fitoplâncton para cada represa.
Imagens de satélites	Resolução Radiométrica 12 bit por pixel. Tamanho de Cena Básica 170,0 x 183,0 km. Bandas do Sensor Pancromático P&B: Banda 8; Multiespectral: Bandas 1-7 e 9; Termal: Bandas 10-11. Altitude: 705 Km. Período de Revisita: 16 dias.	NASA	Gerar informações de índices espectrais e analisar imagens de satélite.
GEE	Processamento das imagens	Google	Gerar informações em formato de arquivo e gráficos de NDVI e NDWI para cada represa.

4.1.2 Métodos

O fluxograma do método utilizado (Figura 13), mostra a sequência das principais ações aplicadas no presente estudo até que o resultado final.

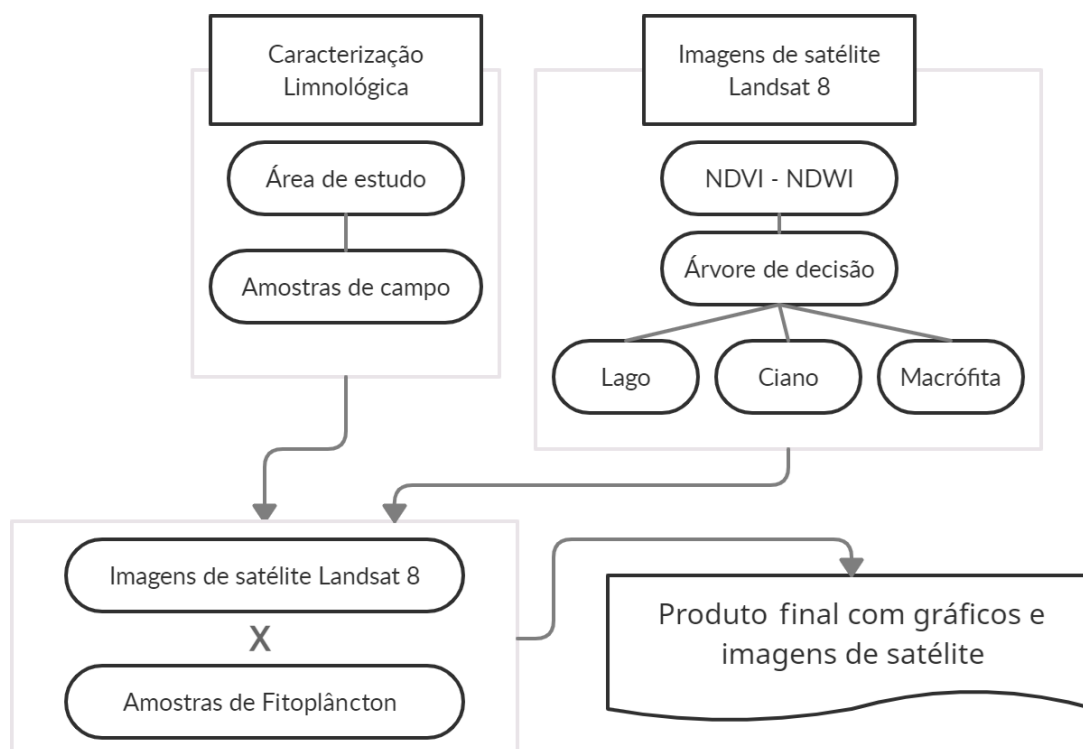


Figura 13 – Fluxograma do procedimento adotado para estudo.

A região de estudo foi definida como sendo algumas das bacias de captação de água de Caxias do Sul (RS), sendo elas: Dal Bó, Maestra, Samuara, Galópolis, Faxinal, Marrecas, Piaí, Sepultura e Mulada. Para delimitar e localizar os cursos hídricos nas bacias de captação no município de Caxias do Sul foram utilizadas técnicas de geoprocessamento, e uso do *software* QGIS (QGIS, 2020). Pela plataforma da FEPAM foi possível coletar as *Shapefiles* para analisar os cursos hídricos de cada uma das bacias de captação (FEPAM, 2021).

4.2 Uso e cobertura do solo

Para delimitar e quantificar o uso e cobertura do solo nas bacias de captação no município de Caxias do Sul foram utilizadas técnicas de geoprocessamento, e uso do *software* QGIS (QGIS, 2020). Neste estudo, foram recortadas as imagens do MAPBIOMAS e para cada imagem foi processada de maneira a extrair, com o uso do SIG, a área de uso da terra para cada categoria nos anos de 2013 e 2019. O MAPBIOMAS é uma iniciativa que envolve uma rede de cooperação com especialistas nas áreas de biomas, ordenamento do território, sensoriamento remoto, SIG e informática. Essa ferramenta usa processamento em nuvem e classificadores automáticos desenvolvidos e operados a partir da plataforma *Google Earth Engine* para gerar uma série de mapas históricos anuais de uso e cobertura do solo no Brasil.

As imagens analisadas nas sete bacias de captação de Caxias do Sul – RS foram geradas a partir do satélite *Landsat 8* e têm uma resolução espacial de 30 m. Portanto, cada *pixel* da imagem foi classificado em 27 categorias de uso do solo (MAPBIOMAS, 2019).

4.3 Dados de qualidade da água

Uma série temporal foi construída com os resultados de qualidade da água, fornecidos pela SAMAE procurando entender o comportamento da qualidade da água das represas do município de Caxias do Sul. Através de resultados de coletadas em campo foi possível fazer uma estimativa da qualidade dos parâmetros da água de 1.155 pontos para os parâmetros Temperatura, Turbidez, pH, Oxigênio Dissolvido, Amônio, Nitritos, Nitratos e Fosfatos em uma série temporal de 2013 a 2019 das represas que abastecem o município de Caxias do Sul.

Através da ferramenta digital *Google Colaboratory* ou *Colab* foram inseridas as tabelas já reorganizadas em um arquivo e inseridas na plataforma do *Colab*. Em seguida foram aplicados *scripts* na linguagem de programação *Python*, com funções extraídas de bibliotecas virtuais permitindo realizar os gráficos e dados estatísticos para cada uma das sete represas. Para este estudo a utilização do *Colab* com centenas de bibliotecas pré-instaladas, facilitou e otimizou o tempo de importação, favorecendo o uso de recursos. Para a geração dos gráficos com dados limnológicos das sete represas com intervalos de 2013 até 2019 foram utilizados os gráficos no formato *boxplots*. Os passos de construção do *boxplot* seguem a metodologia proposta por Tukey, seu idealizador (TUKEY, 1977). Isso significa que cada valor no *boxplot* corresponde a uma observação real dos dados em todas as sete represas. Para o gráfico de temperatura foi utilizado *script* de função com modelo de plotagem linear, pois o comportamento da série e a identificação dos elementos se tornou mais adequado (WOOLDRIDGE, 2000). Este estudo adota também gráficos de setor como objeto de pesquisa. Os gráficos de setor são baseados em um círculo e são usados para destacar a participação dos dados no total (CRESPO, 2002).

4.4 Imagens de satélite *Landsat 8*

Para a aquisição das imagens de satélite, foi utilizado o satélite *Landsat 8* e informações (Tabela 2) sobre as características das imagens orbitais dos sensores OLI e TIR.

Tabela 2: Características das imagens orbitais dos sensores OLI e TIRS do satélite *Landsat 8*.

Bandas	Comprimentos de ondas (µm)	Resolução Espacial (m)
Banda 1 – Ultra Azul	0.43 - 0.45	30
Banda 2 – Azul	0.45 - 0.51	30
Banda 3 – Verde	0.53 - 0.59	30
Banda 4 – Vermelho	0.64 - 0.67	30
Banda 5 - Infravermelho Próximo	0.85 - 0.88	30
Banda 6 - Infravermelho Médio/SWIR	1.57 - 1.65	30
Banda 7 - Infravermelho Médio/SWIR	2.11 - 2.29	30
Banda 8 - Pancromática	0.50 - 0.68	15
Banda 9 - Cirrus	1.36 - 1.38	30
Banda 10 - Infravermelho Termal/TIRS 1	10.6 - 11.19	100
Banda 11 - Infravermelho Termal/TIRS 2	11.5 - 12.51	100

Fonte: Adaptada de USGS.

Para o processamento dos dados de NDVI e NDWI, foi utilizada a plataforma *Google Earth Engine*, por meio de *script* foi aplicado um filtro a fim de capturar imagens entre 01/01/2013 e 31/12/2019. Estas imagens contêm 5 bandas de infravermelho próximo e visível (VNIR) e 2 bandas de infravermelho de onda curta (SWIR) processadas para reflectância de superfície ortorretificada e duas bandas de infravermelho térmico (TIR) processadas para temperatura de brilho ortorretificada.

Em seguida foi aplicado o *script* com o produto *JRC Global Surface Water Mapping Layers*, que consiste em uma imagem contendo 7 bandas. Essa imagem fornece estatísticas sobre a extensão e mudança das águas superficiais. O *script* classifica individualmente cada *pixel* em água/não água usando um sistema especialista mapeando diferentes facetas da distribuição espacial e temporal das águas superficiais nos últimos 35 anos. As áreas onde a água nunca foi detectada são mascaradas.

A finalidade desse método é gerar imagens finais com pouca cobertura de nuvem e com pixels “limpos” entre os anos de 2013 a 2019.

4.5 Pontos amostrais

Através de *scripts* foi inserido os *buffers* com as seguintes coordenadas (Tabela 3) e em seguida foram ajustados na mesma coordenada dos pontos de coleta de resultados de campo (Figura 14).

Tabela 3 – Pontos de localização de *buffers*.

Local de Amostragem	Coordenadas geográficas (UTM WSG 84)	Raio <i>Buffer</i> (m)
Faxinal	-51.057841, -29.087202	60
Maestra	-51.163075, -29.110983	60
Marrecas	-50.984958, -29.036948	60
São Paulo	-51.156811, -29.13881	25
São Pedro	-51.165212, -29.138348	25
São Miguel	-51.168832, -29.143504	25
Samuara	-51.266096, -29.1858537	60

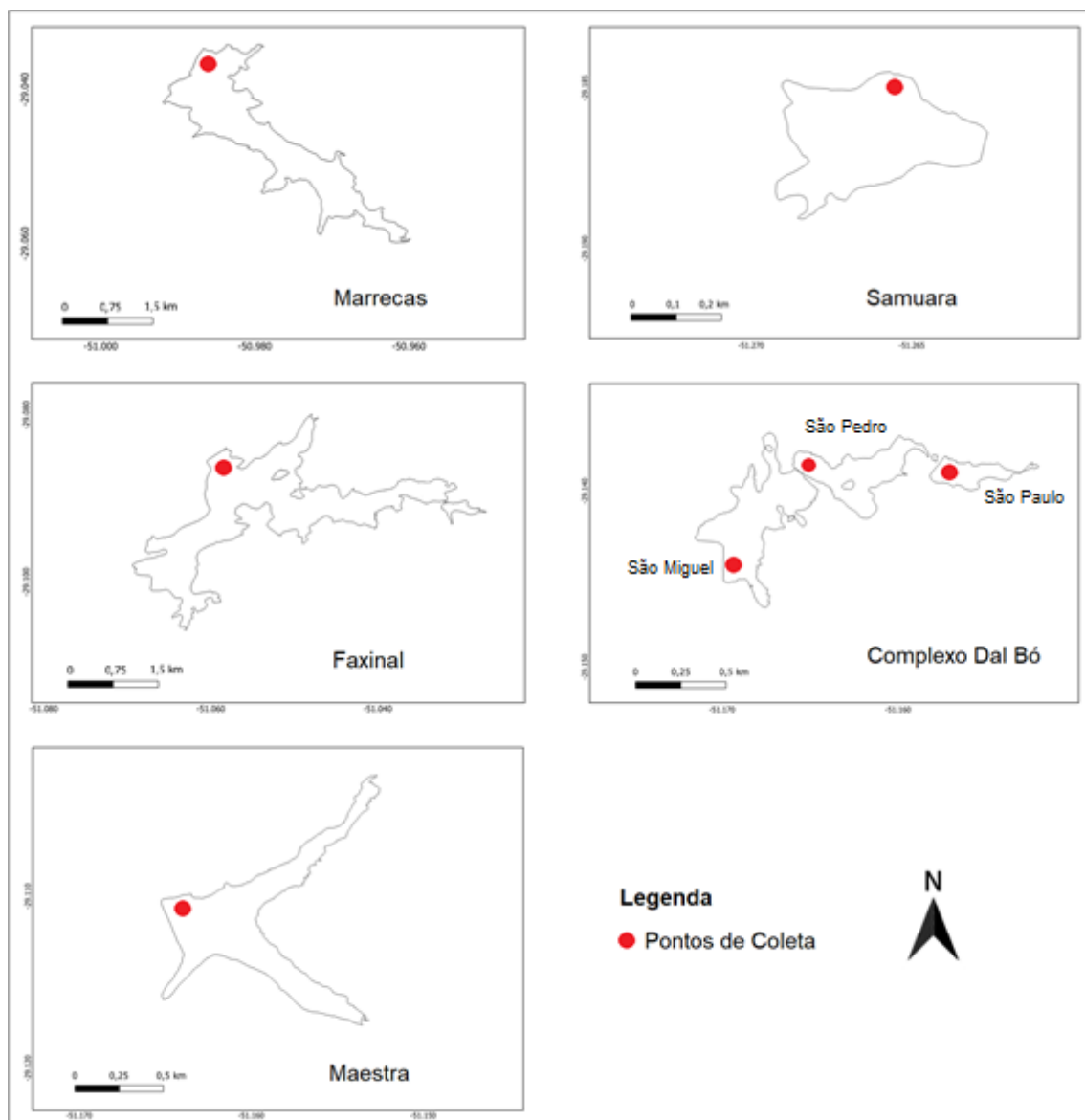


Figura 14: Pontos amostrais das represas de Caxias do Sul – RS.

A partir das imagens selecionadas e os *buffers* ajustados foram realizados os cálculos de NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) no *GEE* para extrair as águas do lago e, em seguida, usamos o NDWI (Índice da Água por Diferença Normalizada) para classificar as áreas restantes como florações de cianobactérias ou macrófitas aquáticas. Segundo Oyahma, (2015) para mapear e separar as florações de cianobactérias e macrófitas aquáticas são realizados os cálculos com intervalos nos limites de índice de NDVI e NDWI. Esses valores que variam de 1 a -1 podem ser coletados por imagens de satélite *Landsat 8*. O valor de NDVI, por exemplo, indicam o quão sadia está a vegetação e os valores de NDWI podem informar o seu teor de umidade.

4.6 NDVI

Para os cálculos de NDVI, são utilizadas as bandas correspondentes às bandas vermelha e infravermelha próximas ao espectro eletromagnético. A seguinte (Equação 1) é usada para calcular o índice de NDVI:

$$NDVI = \frac{(NIR-R)}{(NIR+R)} \quad (1)$$

onde:

NIR= banda do infravermelho próximo;

R= banda do vermelho.

Neste estudo foi utilizada a ferramenta *Code Editor* do *GEE*, sendo possível implementar e executar os *scripts* para gerar os gráficos de NDVI. A função '*normalized Difference*' calcula a diferença normalizada entre duas bandas B4 e B5, da seguinte forma: $(B5 - B4) / (B5 + B4)$.

4.7 NDWI

Neste estudo foi utilizada a ferramenta *Code Editor* do *GEE*, sendo possível implementar e executar os *scripts* para gerar os gráficos de NDWI. A função '*normalized Difference*' calcula a diferença normalizada entre duas bandas B3 e B5, da seguinte forma: $(B5 - B3) / (B5 + B3)$. Deste modo, o cálculo do índice é representado pela (Equação 2).

$$NDWI = \frac{(NIR-SWIR)}{(NIR+SWIR)} \quad (2)$$

onde:

NIR= banda do infravermelho próximo;

SWIR= banda Infravermelho médio.

4.8 Árvore de decisão

Posteriormente, através de árvore de decisão (Figura 15) foi possível realizar três classificações na plataforma da *Google Earth Engine* separadas em Lago, Ciano e Macrófita para cada represa, respectivamente.

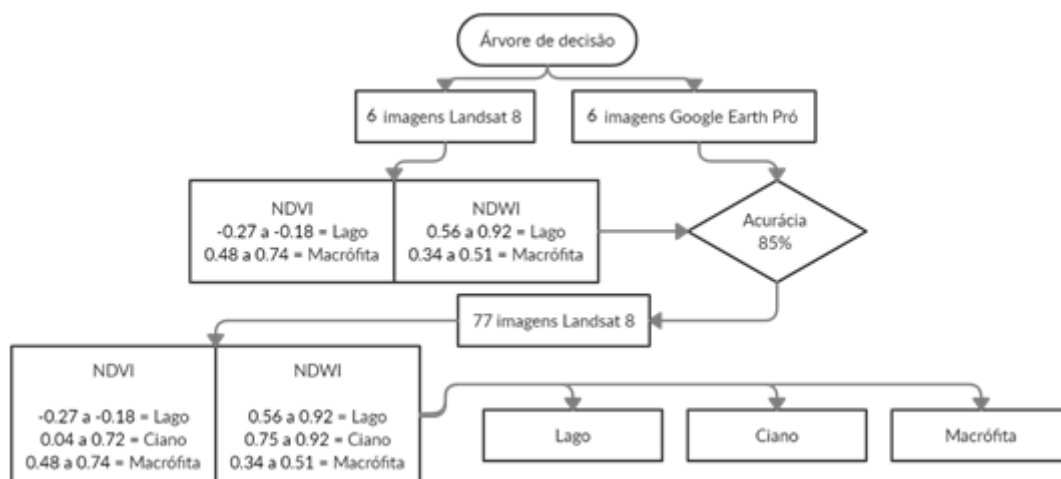


Figura 15 – Fluxograma árvore de decisão.

Para separar as florações de cianobactérias e macrófitas aquáticas foram realizados os cálculos com intervalos de limites de índice NDVI e NDWI (Tabela 4) permitindo gerar gráficos, no qual descrevem o comportamento do NDVI e NDWI através da metodologia proposta por Oyahma, (2015) onde o autor aplicou medições de reflectância e gerou um método eficaz para distinguir florações de cianobactérias e macrófitas aquáticas usando sensores de satélite *Landsat 8* de média resolução sendo possível compreender as características espectrais dos alvos.

Tabela 4 - Intervalos observados de refletância TM derivada de satélite e índices selecionados para a água do lago, flores de cianobactérias e macrófitas aquáticas.

Índice	Alcance			Água do Lago e Ciano		Ciano e Macrófita	
	Água do Lago	Ciano	Macrófita	Distin- guível	Limiar	Distin- guível	Limiar
NDVI	- 0.27a -0.18	0.04- 0.72	0.48- 0.74	Sim	-0.07	Não	-
NDWI (3,5)	0.75-0.91	0.18- 0.95	-0.50- 0.01	Não	-	Sim	0.10

Os limiares entre a água do lago e a floração de cianobactérias e entre cianobactérias e macrófitas aquáticas foram calculados a partir dos valores máximo e mínimo entre eles separando-os em "Sim" ou "Não". Fonte (Oyahma, 2015).

Com essa metodologia foi possível verificar se realmente as medições de reflectância eram um método eficaz para distinguir florações de macrófitas aquáticas de lago usando sensores de satélite *Landsat 8*. A seguir (Tabela 5), as imagens utilizadas para a acurácia visual.

Tabela 5 – Imagens utilizadas para acurácia visual.

Google Earth Pro	Landsat 8	Diferença (dias)
21/04/2013	24/04/2013	3
19/12/2013	20/12/2013	1
24/03/2014	26/03/2014	2
13/03/2016	15/03/2016	2
21/07/2017	24/07/2017	3
20/08/2020	17/08/2020	3

Foi analisada visualmente na (Figura 16) as datas das imagens da *Google Earth Pro* com as datas de imagens de satélite *Landsat 8*.

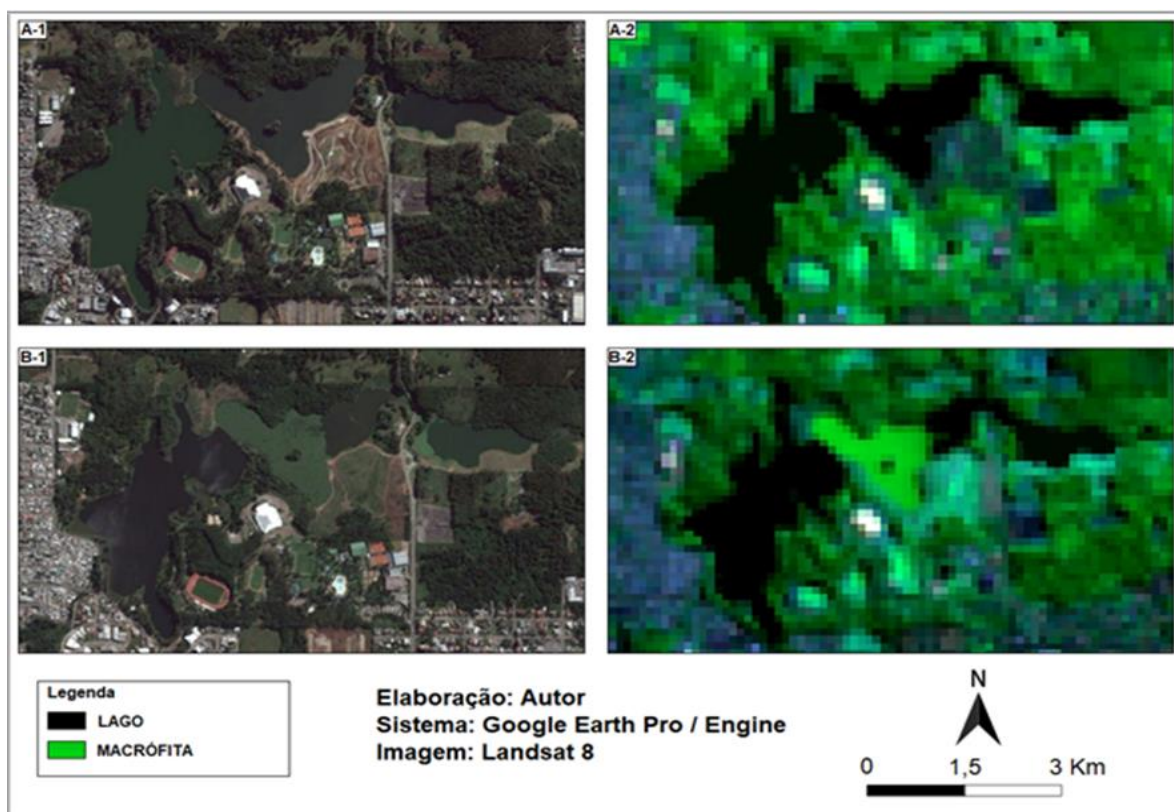


Figura 16 - Acurácia visual.

Com o uso de *scripts* na plataforma *GEE* foi possível separar os índices já classificados (Lago – Ciano – Macrófita). Através dos limiares dos índices da árvore de decisão, é possível quantificar as datas e o local para cada classe. O resultado gerou dois números para separação dos índices, sendo eles: 0 - não ocorrência ou 1 - ocorrência.

4.9 Dados de fitoplâncton

Em seguida os dados de fitoplâncton dos períodos de 2013 a 2019 fornecidos pela SAMAE foram reorganizados em um arquivo sendo elas em classes/divisões: *Bacillariophyceae*, *Chlamydomphyceae*, *Chlorophyceae*, *Chrysophyceae*, *Cryptophyceae*, *Cyanobacteria*, *Dinophyceae*, *Euglenophyceae*, *Prasinophyceae*, *Raphidophyceae*, *Xanthophyceae*, *Zygnemaphyceae* (BICUDO; MENEZES, 2005). As espécies foram agrupadas por famílias e o procedimento de agrupamento dos arquivos foi realizado em etapa única em código *Python* na interface *Google Colaboratory*.

5. Resultados e Discussão

5.1 Uso e ocupação do solo das bacias de captação

O mapa de uso e ocupação do solo das bacias de captação de água do município de Caxias do Sul, apresenta uma vegetação do tipo formação florestal e campestre dominando a área ao redor dos recursos hídricos (Figura 17). Também é possível observar uma faixa de transição entre as formações vegetais de floresta plantada, somadas às formações de infraestrutura urbana, agricultura e pastagem, além de rios e lagos.

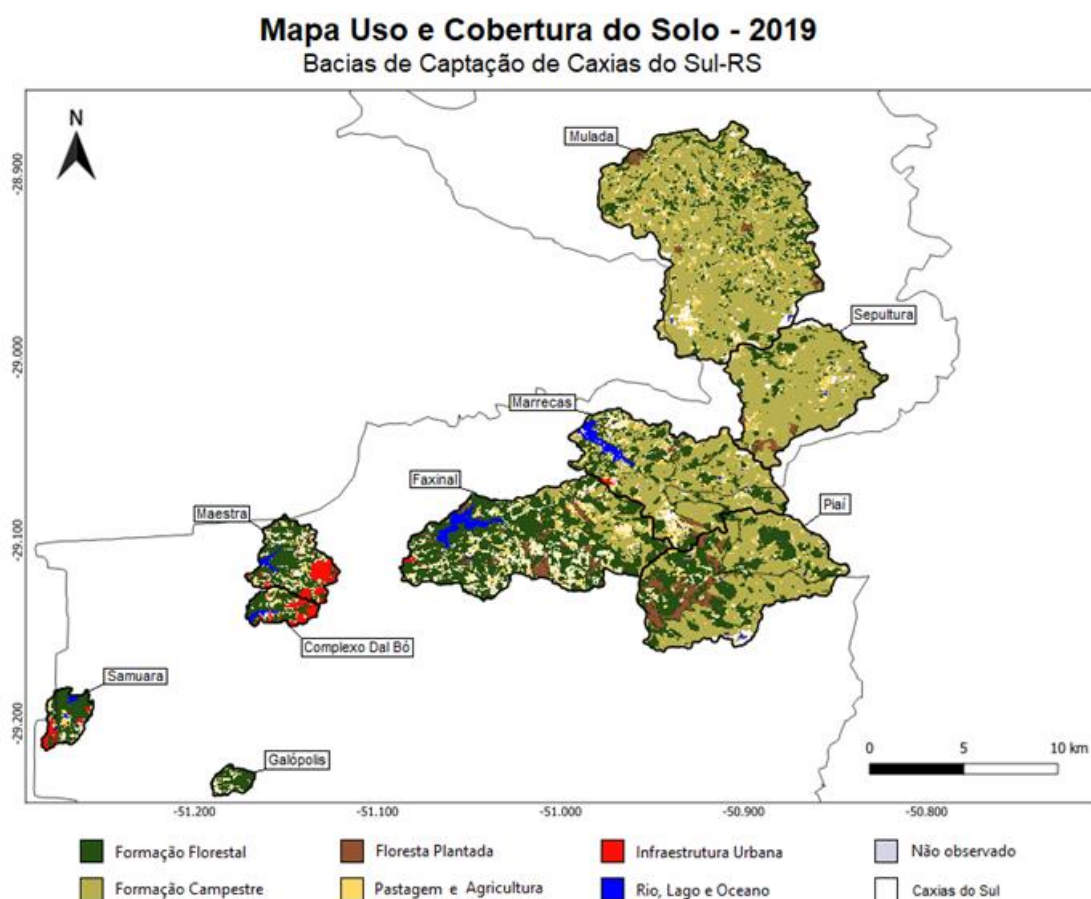


Figura 17. Mapa de uso e ocupação do solo nas bacias de captação.

É possível analisar na Tabela 6 a porcentagem do uso e cobertura do solo no ano de 2013 e no ano de 2019 para as principais bacias de captação de água de Caxias do Sul na Tabela 7. Os valores em hectares estão disponíveis nos apêndices deste documento.

Tabela 6 – Uso de ocupação do solo 2013 (%) nas bacias de captação de Caxias do Sul-RS.

2013	Marrecas	Faxinal	Maestra	Dal Bó	Samuara
Formação Florestal	25,68	54,33	50,53	47,02	64,14
Floresta Plantada	1,60	4,61	0,48	1,07	0,96
Formação Campestre	53,41	12,73	0,00	0,00	0,00
Agricultura e Pastagem	15,02	23,34	28,61	23,76	17,37
Infraestrutura Urbana	0,37	0,42	15,93	22,20	13,51
Não Observado	2,20	1,16	1,68	0,23	0,49
Rio, Lago e Oceano	1,90	3,41	2,76	5,72	3,53

Fonte: (MAP BIOMAS, 2021)

Tabela 7 – Uso de ocupação do solo 2019 (%) nas bacias de captação de Caxias do Sul-RS.

2019	Marrecas	Faxinal	Maestra	Dal Bó	Samuara
Formação Florestal	24,92	54,74	54,29	49,73	65,28
Floresta Plantada	1,95	5,16	0,49	1,15	1,07
Formação Campestre	52,80	11,22	0,00	0,00	0,00
Agricultura e Pastagem	14,77	23,71	23,96	17,89	14,91
Infraestrutura Urbana	0,40	0,43	16,73	24,65	14,16
Não Observado	1,79	1,41	1,82	0,87	0,93
Rio, Lago e Oceano	3,36	3,32	2,71	5,71	3,64

Fonte: (MAP BIOMAS, 2021)

A bacia de captação Marrecas tem Formação Florestal muito preservada, chegando a 25% no ano de 2019 o que auxilia na manutenção da fertilidade do solo e reciclagem de nutrientes, protegendo a bacia de captação e reduzindo a poluição que possa chegar a represa Marrecas. Estudos de Sommer e Saldanha, (2010) observaram na bacia de captação Marrecas a substituição constante das áreas ocupadas de cultivos agrícolas por reflorestamento.

A bacia de captação do Faxinal teve 0,43% para Infraestrutura urbana no ano de 2019, podendo estar associado à presença das macrófitas na represa Faxinal próximo à rodovia da Rota do Sol. O manejo inadequado do solo e das lavouras,

inclusive de áreas destinadas à agricultura, facilitam o transporte de agrotóxicos do solo para os corpos d'água (LOURENÇATO, 2010).

A bacia de captação da Maestra teve aumento de 0,8% para Infraestrutura Urbana nos intervalos de 2013 a 2019. As mudanças ambientais decorrentes da ocupação urbana próxima a rios e represas têm um impacto significativo nos aspectos quantitativos e qualitativos do uso da água e do solo.

A bacia de captação do Complexo Dal Bó possui uma área de 642 ha. O uso e ocupação do solo na bacia de captação do Complexo Dal Bó apresentou para o ano de 2013 o uso e ocupação do solo com as seguintes classes: Formação florestal com 47,01% e infraestrutura urbana com 22,76%. Para o ano de 2019 a formação florestal aumentou para 49,73% e com infraestrutura urbana aumentou para 24,65% (MAPBIOMAS, 2021).

A bacia de captação Samuara possui uma área de 671,98 ha. O uso e ocupação do solo na bacia de captação Samuara apresentou para o ano de 2013 o uso e ocupação do solo com formação florestal em 64,14% e com infraestrutura urbana com 13,51%. A porcentagem de ocupação com formação florestal no ano de 2019 aumentou para 65,28% e com infraestrutura urbana aumentou para 14,16% (MAPBIOMAS, 2021). Este estudo foi conduzido principalmente nas bacias de captação onde existe represamento de água. Conforme a SAMAE atualmente, não há barramento nas bacias do Piaí, Sepultura e Mulada.

5.2 Parâmetros Limnológicos

5.2.1 Temperatura

Em relação às temperaturas, pode-se notar para todas as represas variações crescentes e decrescentes ao longo de todo o período de 2013 a 2019. Observa-se em 1.129 pontos (Figura 18) que a represa Faxinal obteve no dia (27/08/2013) valor mínimo em 11,8°C e no dia (29/01/2019) máximo em 27,9°C, para Maestra no dia (27/08/2013) com valor mínimo em 11,4°C e no dia (11/02/2014) máximo em 27,4°C, para Marrecas no dia (27/08/2013) com valor mínimo em 12°C e no dia (02/01/2019) máximo em 27,7°C, para São Paulo no dia (02/07/2013) com valor mínimo em 11,9°C e no dia (04/02/2014) máximo em 25,8°C, para São Pedro no dia (21/06/2016) com valor mínimo em 10,2°C e no dia (26/12/2019) máximo em 26,8°C, para São Miguel no dia (27/08/2013) com valor mínimo em 14,4°C e no dia (11/02/2014) máximo em 27,1°C e para Samuara no dia (14/06/2016) com valor mínimo em 10,3°C e no dia

(04/02/2014) máximo em 27,3°C.

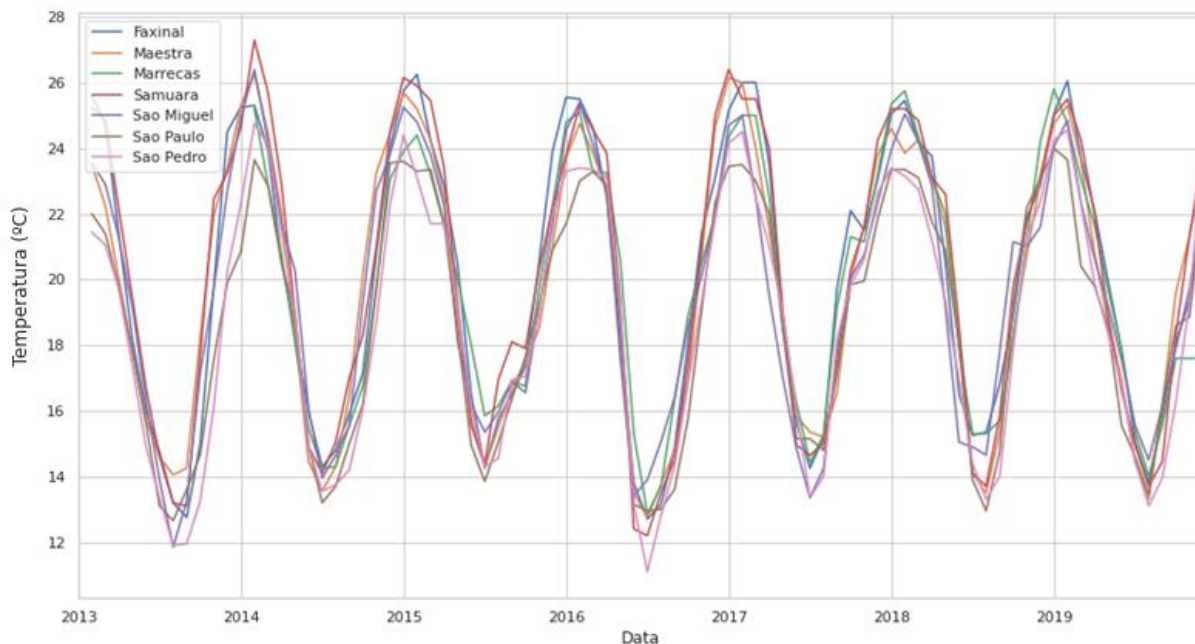


Figura 18: Temperatura das represas de Caxias do Sul-RS.

5.2.2 Turbidez

Quanto à turbidez observa-se em 1.120 pontos (Figura 19) os valores analisados para todas as represas dentro do período de 2013 a 2019. A represa Faxinal obteve no dia (28/02/2018) valor menor em 1,08 NTU e no dia (10/11/2015) maior em 29,9 NTU, para represa Maestra no dia (23/04/2013) menor em 3,16 NTU e no dia (22/09/2015) maior em 29,9 NTU, para represa Marrecas no dia (15/02/2018) menor em 1,37 NTU e no dia (07/06/2016) maior em 18 NTU, para represa São Paulo no dia (03/12/2013) menor em 2,02 NTU e no dia (03/02/2015) maior em 30,1 NTU, para represa São Pedro no dia (30/09/2019) menor em 0,75 NTU e no dia (12/11/2013) maior em 24,2 NTU, para represa São Miguel no dia (13/02/2013) menor em 1,85 NTU e no dia (26/04/2017) maior em 13,1 NTU e para represa Samuara no dia (21/02/2018) menor em 1,67 NTU e no dia (22/03/2016) maior em 29,3 NTU.

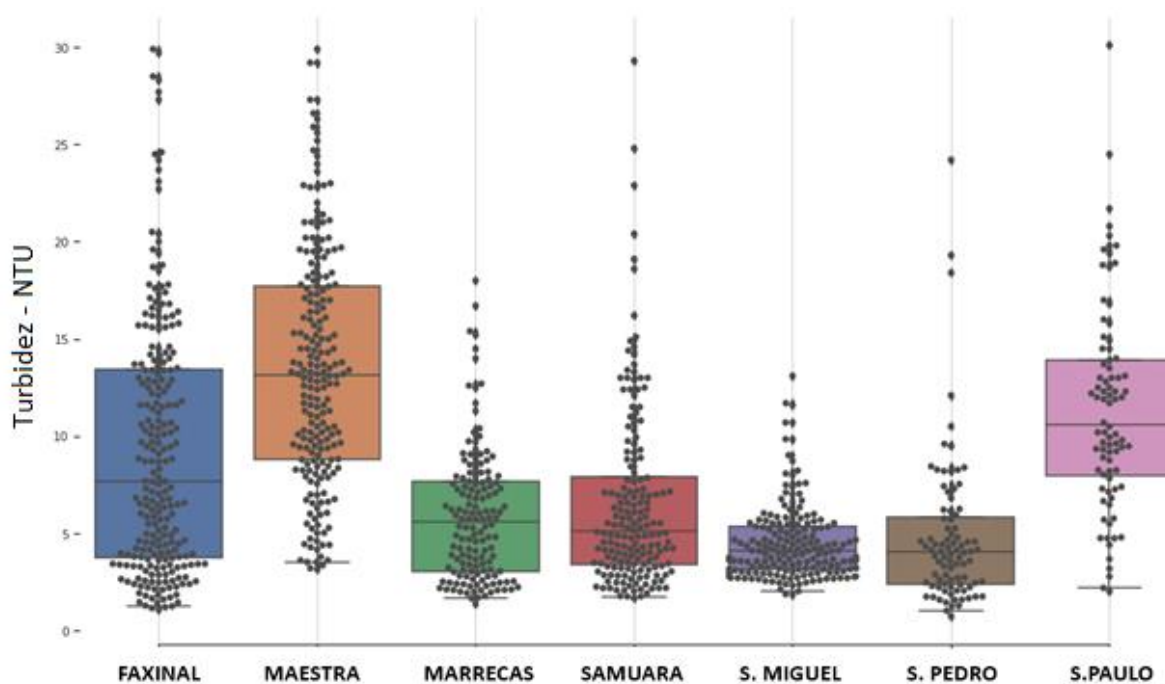


Figura 19: Turbidez das represas de Caxias do Sul-RS.

5.2.3 pH

Em relação ao pH observa-se em 1.129 pontos (Figura 20) os valores analisados para todas as represas dentro do período de 2013 a 2019, estando a represa São Pedro no dia (08/07/2014) com valor menor em 4,71 e para a represa Maestra no dia (19/11/2013) com valor maior em 10,5.

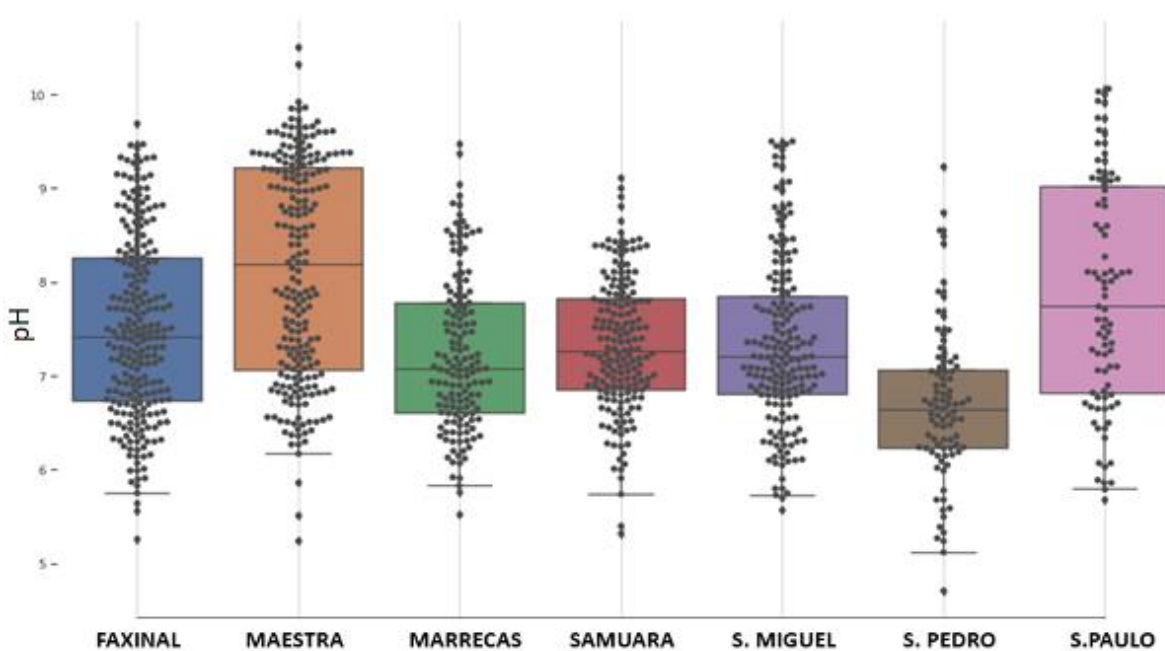


Figura 20: pH das represas de Caxias do Sul-RS.

5.2.4 Oxigênio dissolvido

Quanto ao Oxigênio dissolvido, observa-se em 1.117 pontos (Figura 21) os valores analisados para todas as represas dentro do período de 2013 a 2019, estando a represa Faxinal obteve no dia (19/06/2018) valor menor em 2,4 mg.L⁻¹ e no dia (18/08/2015) maior em 14,6 mg.L⁻¹, para represa Maestra no dia (19/02/2013) menor em 1,7 mg.L⁻¹ e no dia (26/07/2017) maior em 15,0 mg.L⁻¹, para represa Marrecas no dia (07/06/2016) menor em 2,2 mg.L⁻¹ e no dia (04/08/2015) maior em 14,0 mg.L⁻¹, para represa São Paulo no dia (06/03/2014) menor em 0,03 mg.L⁻¹ e no dia (14/12/2016) maior em 14,8 mg.L⁻¹, para represa São Pedro no dia (10/09/2013) menor em 0,01 mg.L⁻¹ e no dia (19/07/2017) maior em 15 mg.L⁻¹, para represa São Miguel menor no dia (08/11/2016) em 4,0 mg.L⁻¹ e no dia (04/08/2015) maior em 14,1 mg.L⁻¹ e para represa Samuara no dia (20/04/2015) menor em 0,17 mg.L⁻¹ no dia (11/08/2015) maior em 14,2 mg.L⁻¹.



Figura 21: Oxigênio Dissolvido das represas de Caxias do Sul-RS.

5.2.5 Amônio

Quanto ao Amônio observa-se em 1.092 pontos (Figura 22) os valores analisados para todas as represas dentro do período de 2013 a 2019, estando a represa Faxinal obteve no dia (31/01/2018) valor menor em 0,007 mg.L⁻¹ e no dia (19/06/2018) maior em 0,341 mg.L⁻¹, para represa Maestra no dia (08/09/2015) menor em 0,02 mg.L⁻¹ e no dia (18/06/2013) maior em 0,8 mg.L⁻¹, para represa Marrecas no

dia (04/06/2019) menor em 0,006 mg.L⁻¹ e no dia (05/07/2018) maior em 0,266 mg.L⁻¹, para represa São Paulo no dia (22/03/2016) menor em 0,03 mg.L⁻¹ e no dia (25/06/2019) maior em 1,9 mg.L⁻¹, para represa São Pedro no dia (20/04/2015) menor em 0,01 mg.L⁻¹ e no dia (08/07/2014) maior em 1,17 mg.L⁻¹, para represa São Miguel no dia (11/11/2014) menor em 0,007 mg.L⁻¹ e no dia (15/03/2017) maior em 0,446 mg.L⁻¹ e para represa Samuara no dia (30/06/2015) menor em 0,006 mg.L⁻¹ e no dia (18/10/2016) maior em 0,233 mg.L⁻¹.

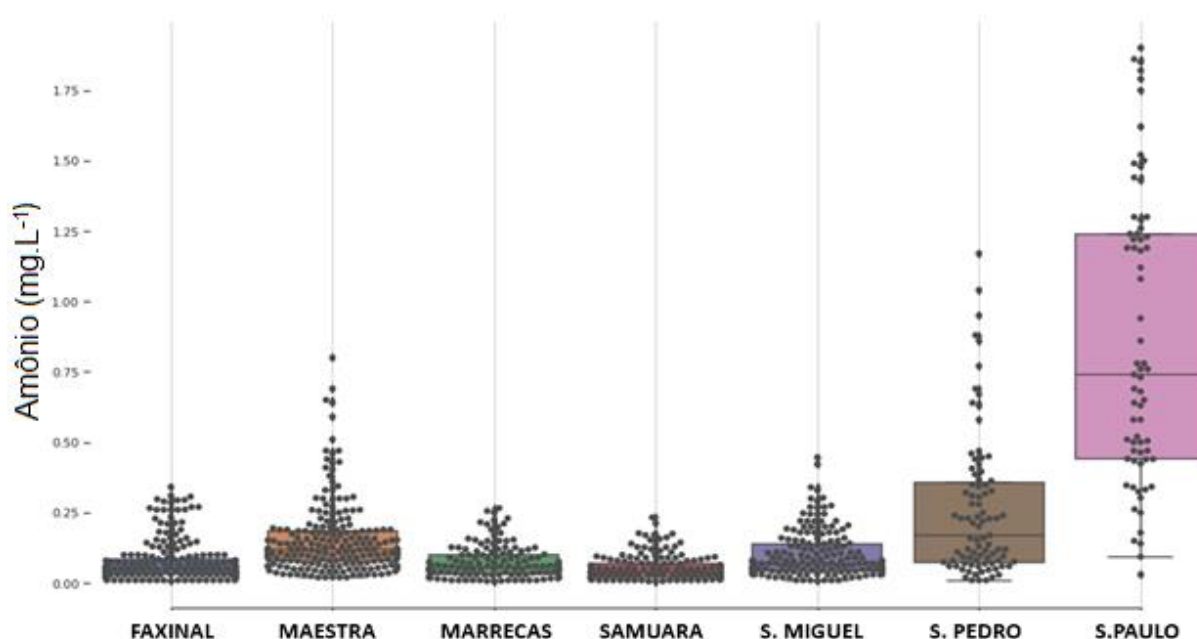


Figura 22: Amônio das represas de Caxias do Sul-RS.

5.2.6 Nitritos

Quanto aos Nitritos observa-se em 1114 pontos (Figura 23) os valores analisados para todas as represas dentro do período de 2013 a 2019, estando a represa Faxinal obteve no dia (26/02/2019) valor menor em 0,001 mg.L⁻¹ e no dia (18/11/2014) maior em 0,074 mg.L⁻¹, para represa Maestra no dia (07/03/2019) menor em 0,007 mg.L⁻¹ e no dia (29/04/2019) maior em 0,084 mg.L⁻¹, para represa Marrecas no dia (26/02/2019) menor em 0,003 mg.L⁻¹ e no dia (23/04/2019) maior em 0,046 mg.L⁻¹, para represa São Paulo no dia (22/03/2016) menor em 0,02 mg.L⁻¹ e no dia (03/03/2015) maior em 0,19 mg.L⁻¹, para represa São Pedro no dia (30/09/2019) menor em 0,004 mg.L⁻¹ e no dia (29/03/2016) maior em 0,09 mg.L⁻¹, para represa São Miguel no dia (26/03/2013) menor em 0,004 mg.L⁻¹ e no dia (25/11/2014) maior em 0,066 mg.L⁻¹ e para represa Samuara no dia (07/03/2019) menor em 0,003 mg.L⁻¹ e no dia (12/05/2015) maior em 0,07 mg.L⁻¹.

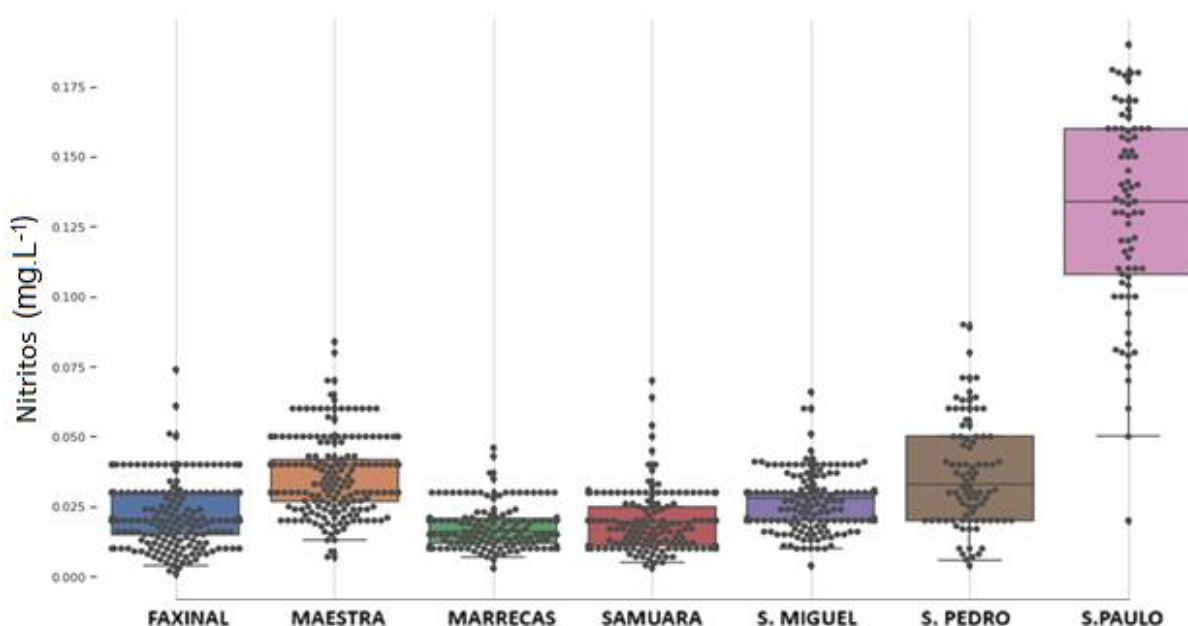


Figura 23: Nitritos das represas de Caxias do Sul-RS.

5.2.7 Nitratos

Quanto a Nitratos observa-se em 910 pontos (Figura 24) os valores analisados para todas as represas dentro do período de 2013 a 2019, estando a represa Faxinal obteve valor no dia (17/12/2019) menor em 0,01 mg.L⁻¹ e no dia (26/10/2016) maior em 1,2 mg.L⁻¹, para represa Maestra no dia (20/02/2019) menor em 0,02 mg.L⁻¹ e no dia (25/11/2014) maior em 1,46 mg.L⁻¹, para represa Marrecas no dia (12/03/2019) menor em 0,01 mg.L⁻¹ e no dia (20/01/2015) maior em 0,73 mg.L⁻¹, para represa São Paulo no dia (22/03/2016) menor em 0,2 mg.L⁻¹ e no dia (03/05/2017) maior em 1,7 mg.L⁻¹, para represa São Pedro no dia (08/07/2014) menor em 0,04 mg.L⁻¹ e no dia (03/09/2019) maior em 1,64 mg.L⁻¹, para represa São Miguel no dia (28/03/2018) menor em 0,03 mg.L⁻¹ no dia (13/01/2015) maior em 1,55 mg.L⁻¹ e para represa Samuara no dia (27/11/2018) menor em 0,04 mg.L⁻¹ no dia (22/03/2016) maior em 1,44 mg.L⁻¹.

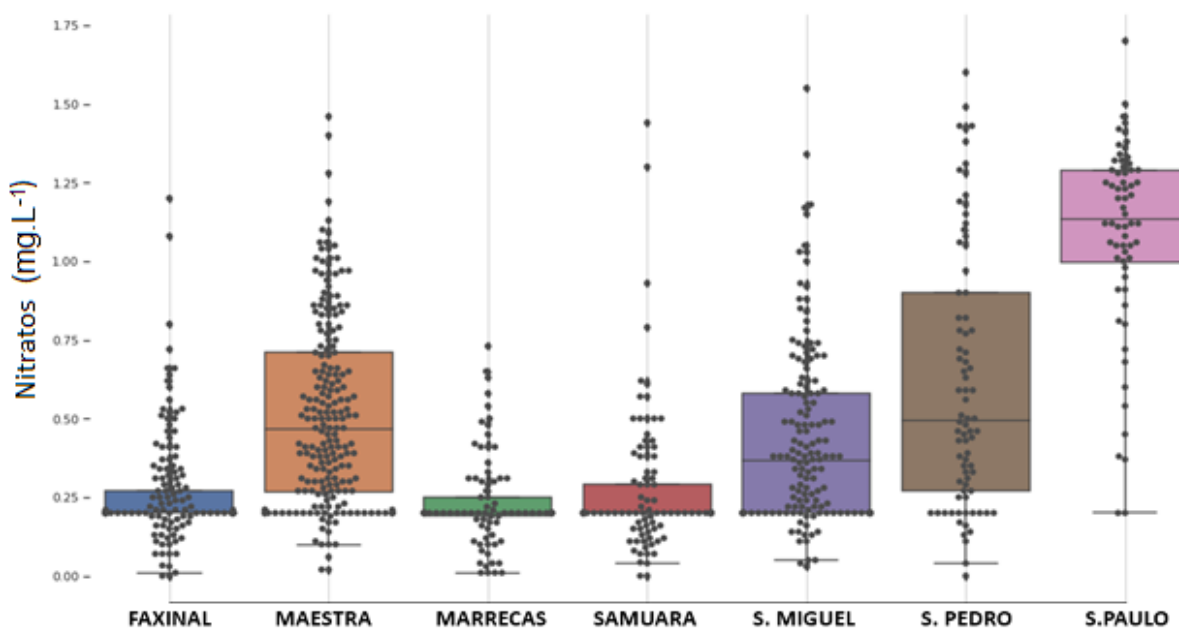


Figura 24: Nitratos das represas de Caxias do Sul-RS.

5.2.8 Fosfatos

Quanto a Fosfatos observa-se em 1060 pontos (Figura 25) os valores analisados para todas as represas dentro do período de 2013 a 2019, estando a represa Faxinal obteve valor no dia (11/04/2018) menor em 0,002 mg.L⁻¹ e no dia (05/11/2013) maior em 0,09 mg.L⁻¹, para represa Maestra no dia (11/02/2014) menor em 0,005 mg.L⁻¹ e no dia (18/03/2014) maior em 0,13 mg.L⁻¹, para represa Marrecas no dia (12/03/2019) menor em 0,001 mg.L⁻¹ e no dia (29/09/2015) maior em 0,07 mg.L⁻¹, para represa São Paulo no dia (25/02/2016) menor em 0,01 mg.L⁻¹ e no dia (14/12/2016) maior em 0,349 mg.L⁻¹, para represa São Pedro no dia (06/08/2019) menor em 0,003 mg.L⁻¹ e no dia (20/04/2015) maior em 0,29 mg.L⁻¹, para represa São Miguel no dia (20/12/2016) menor em 0,006 mg.L⁻¹ e no dia (23/05/2018) maior em 0,094 mg.L⁻¹ e para represa Samuara no dia (20/08/2019) menor em 0,002 mg.L⁻¹ e no dia (09/07/2019) maior em 0,129 mg.L⁻¹.

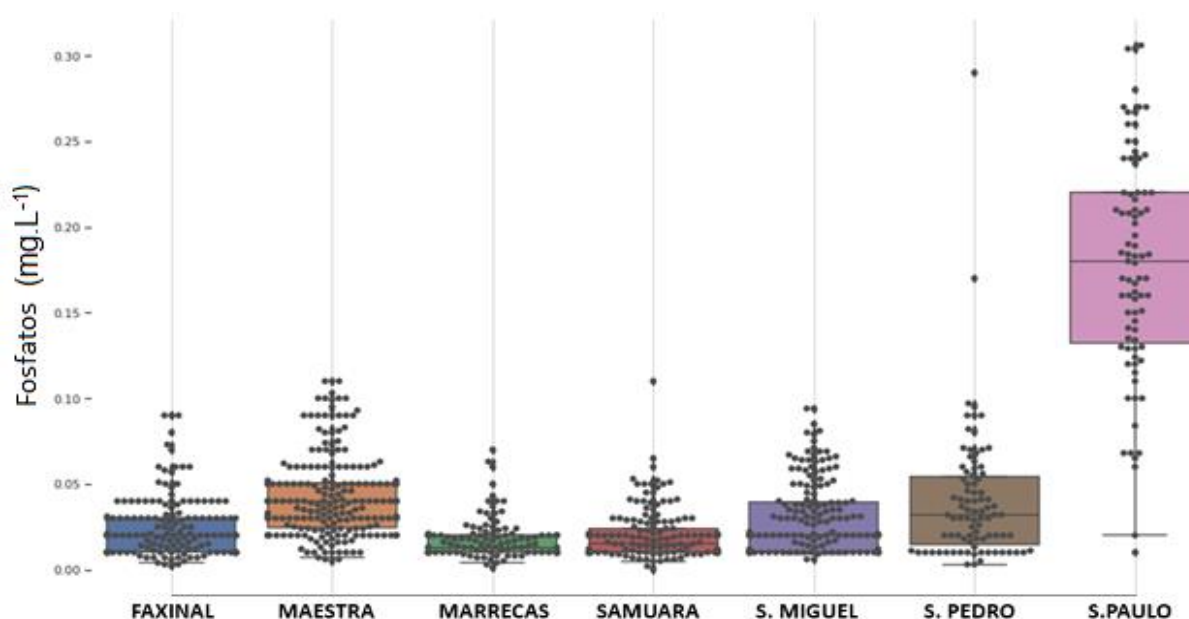


Figura 25: Fosfatos das represas de Caxias do Sul-RS.

5.3 Avaliação Ambiental

Foram avaliadas algumas características importantes das bacias de captação de água juntamente com as represas de Caxias do Sul (Tabela 8), nos períodos de 2013 a 2019. A preservação ambiental das bacias de captação e das represas resulta na quantidade e na qualidade da água, sendo essenciais para a sustentabilidade da vida, sendo um recurso fundamental para diversas atividades no município.

Percebe-se haver um déficit de oxigênio dissolvido em algumas represas em diversos dias ao longo do monitoramento associado a baixa qualidade de outros parâmetros monitorados o que pode estar causando danos ao ecossistema e até mesmo elevando custos no tratamento da água. Os resultados evidenciaram haver um comportamento hidroquímico/limnológico bastante diferenciado entre as sete represas de Caxias do Sul. Este comportamento varia tanto entre às represas quanto ao longo do tempo em cada uma delas.

Tabela 8 – Avaliações ambientais das bacias de captação e represas de Caxias do Sul – RS.

Local	Características Ambientais	Avaliação ambiental
Faxinal	Formação Florestal: Aumento de 0,41%	Poluição e despejo de resíduos domésticos em torno da rodovia próxima a Rota do Sol.
	Formação Campestre: Perda de 1,51%	Poluição em menores quantidades oriundas de esgoto doméstico das áreas urbanas.
	Agricultura e Pastagem:	

	Aumento de 0,37%	Ocorrência de algas e desenvolvimento de macrófitas em algumas épocas do ano. Mata nativa em grande escala no entorno da represa.
Maestra	Formação Florestal: Aumento de 3,76%	Pouca mata nativa, recebe contribuição de áreas urbanizadas;
	Agricultura e Pastagem: Aumento de 4,65%	As algas aparecem em certas épocas do ano;
	Infraestrutura Urbana: Aumento de 0,8%	Baixa recuperação do nível da Represa Maestra durante os períodos de seca.
Complexo Dal Bó	Infraestrutura Urbana: Aumento de 1,89%	Poluição por esgotos domésticos oriundos de área urbana com grande concentração industrial;
		Poucas áreas verdes;
		Grande presença de Infraestrutura urbana;
		Impermeabilização do solo;
		Aparecimento de algas em algumas épocas do ano nas represas;
		Cemitério próximo a represa.

5.4 Índice NDVI e NDWI

A partir das séries temporais de NDVI nos mananciais do Complexo Dal Bó, verifica-se que nos períodos de março de 2013 a setembro de 2015 a represa São Pedro apresentou, em média, valores de NDVI acima de 0,5. As represas São Paulo e São Miguel ficaram, em média, com valores de -0,4 a 0,3 para todo o período de 2013 a 2019. Nos períodos entre 2015 até final de 2019 os índices de NDVI no Complexo Dal Bó (Figura 26) apresentaram, em média, valores abaixo de 0,5.

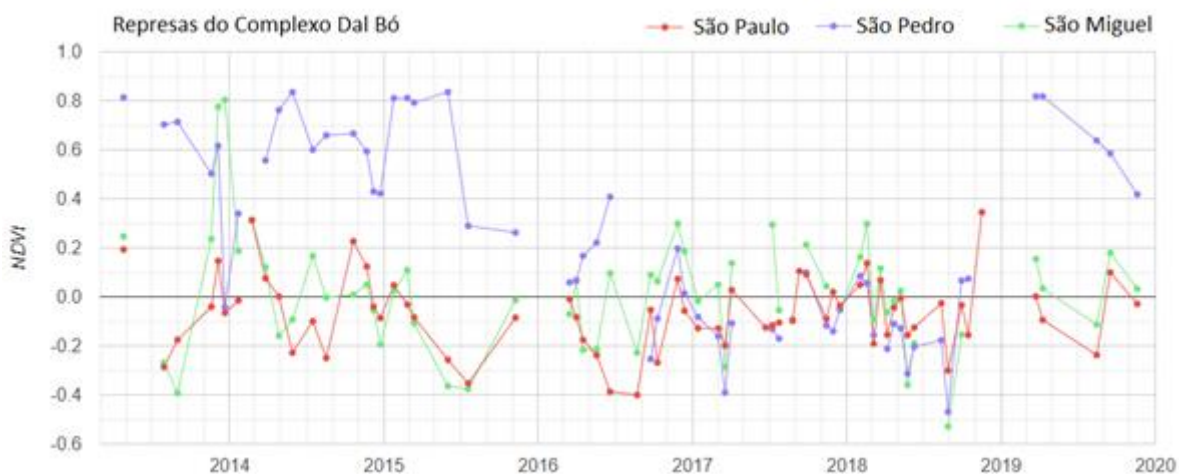


Figura 26 – Valores de NDVI para as represas do Complexo Dal Bó.

Com relação às séries temporais de NDWI nos mananciais do Complexo Dal Bó, verifica-se que nos períodos de março de 2013 a setembro de 2015 a represa São Pedro apresentou, em média, valores de NDWI de -0,5. As represas São Paulo e São Miguel ficaram, em média, com valores de 0,4 a -0,2 para todo o período de 2013 a 2019. Nos períodos entre 2016 até final de 2019 os índices de NDWI no Complexo Dal Bó (Figura 27) apresentaram, em média, valores de 0,3.

Apartir de 2015 foi evidenciada uma queda nos índices de NDVI e esses valores podem estar associados aos baixos índices de eutrofização. Segundo a SAMAE são realizados manejos de retirada de macrófitas aquáticas e instalou-se uma grade no vertedouro da represa São Pedro, evitando que as plantas cheguem em grande quantidade na represa São Miguel.

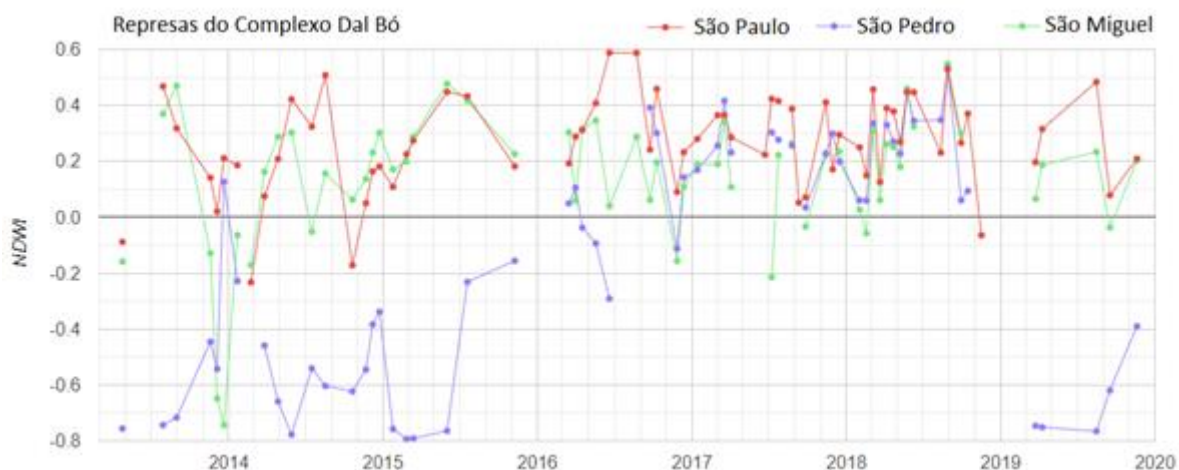


Figura 27 –Valores de NDWI para as represas do Complexo Dal Bó.

5.5 Árvore de decisão

É possível observar, por exemplo, a quantidade de imagens de satélite selecionada pela árvore de decisão (Tabela 9), por classe nas represas do Complexo Dal Bó para cada mês nos anos de 2013 e 2019.

É possível analisar também a frequência mensal das imagens das represas do Complexo Dal Bó (Tabela 10) nos períodos de 2013 até 2019.

Tabela 10 – Porcentagem de observações entre 2013 á 2019.

Represa	Mês (%)											
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
São Paulo	7	23	0	3	7	7	7	7	10	7	17	7
São Pedro	8	14	8	6	8	4	6	12	6	6	14	6
São Miguel	10	24	5	5	10	0	0	5	5	14	14	10

5.7 Classificação

O resultado da árvore de decisão do *GEE* gerou, a partir das 77 imagens de satélite, 93 datas distribuídas em: Lago com 27 datas, Ciano com 31 datas e Macrófitas com 35 datas. As datas desta classificação está disponível nos apêndices deste documento.

As datas de imagens de satélite foram cruzadas com as datas de resultados de fitoplâncton e tiveram intervalo de 0 até 3 dias. Com esse período curto é possível garantir uma maior precisão da atual situação da qualidade da água das sete represas pelos resultados de fitoplâncton coletadas em campo.

A represa Marrecas (Figura 29) apresentou classificação: Lago (68,7%), Ciano (23,6%) e Macrófita (5,1%). O fitoplâncton para a classe Lago, ficando em: *Cyanobacteria* (97 %) e Outros (3%).

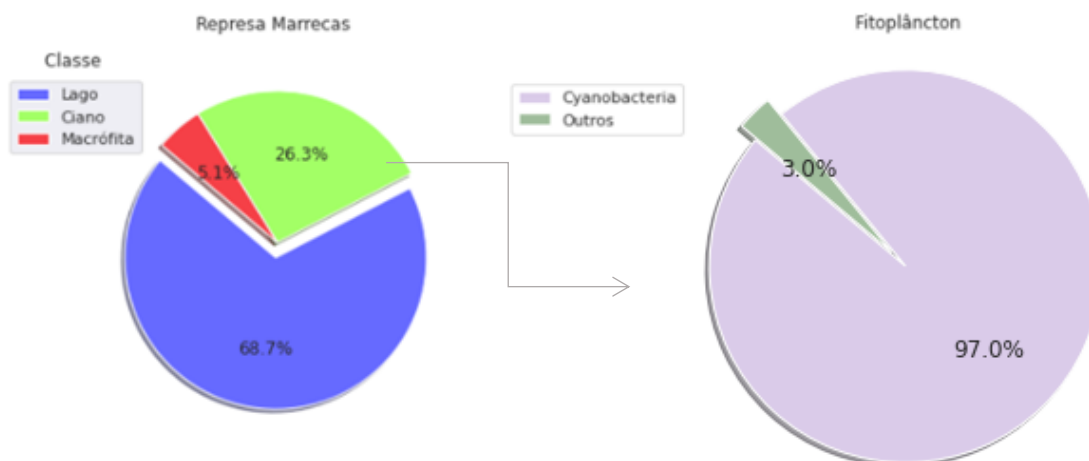


Figura 29 - Contagem de imagens por classe para Marrecas: Lago-13, Ciano-5, Macrófita-1.

A imagem de satélite *Landsat 8* do dia 09/06/2018 apresentou pelo classificador predominância para classe Lago (Figura 30-a) e na (Figura 30-b) é possível visualizar a composição verdadeira. No dia (07/06/2018) apresentou concentrações de *Cyanobacteria* em 5.943 Ind.mL⁻¹ e *Chlorophyceae* com 99 Ind.mL⁻¹.

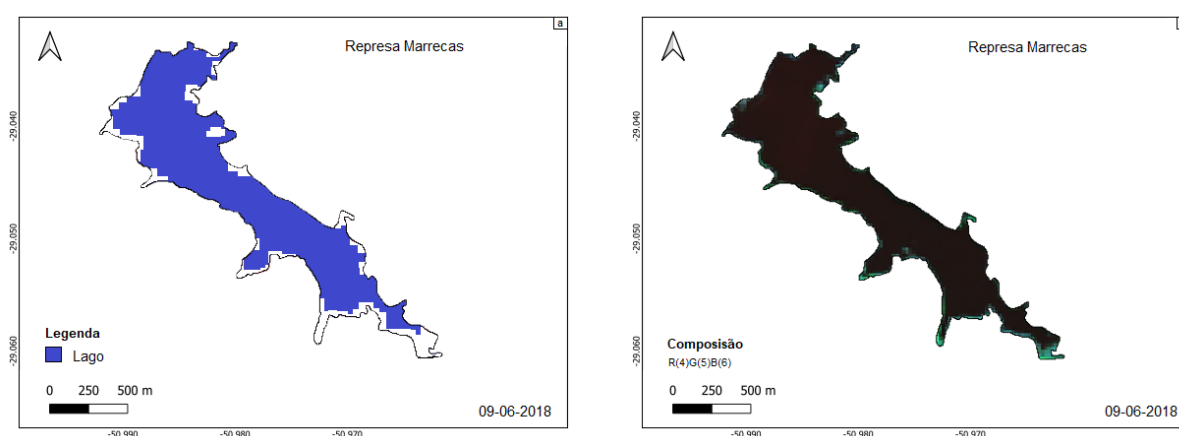


Figura 30 –Classificação para represa Marrecas: (a) Lago; (b) R(4)G(5)B(6).

A represa Faxinal (Figura 31) apresentou classificação: Lago (30%), Ciano (10%) e Macrófita (60%). O fitoplâncton para a classe Macrófita, ficando em: *Chlorophyceae* (22%) da família, *Cyanobacteria* (51 %), *Dinophyceae* (23%) e Outros (4%).

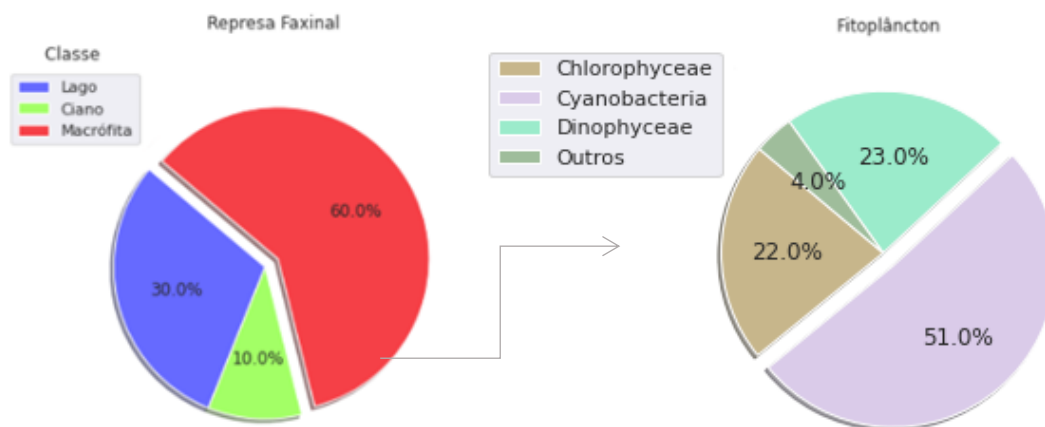


Figura 31 - Contagem de imagens por classe para Faxinal: Lago-3, Ciano-1, Macrófita-6.

A imagem de satélite *Landsat 8* do dia 24/01/2015 apresentou pelo classificador predominância para classe macrófita (Figura 32-a) e na (Figura 32-b) é possível visualizar a composição verdadeira. No dia (27/01/2015) foi evidenciado concentrações de *Cyanobacteria* com 620 Ind.mL⁻¹.

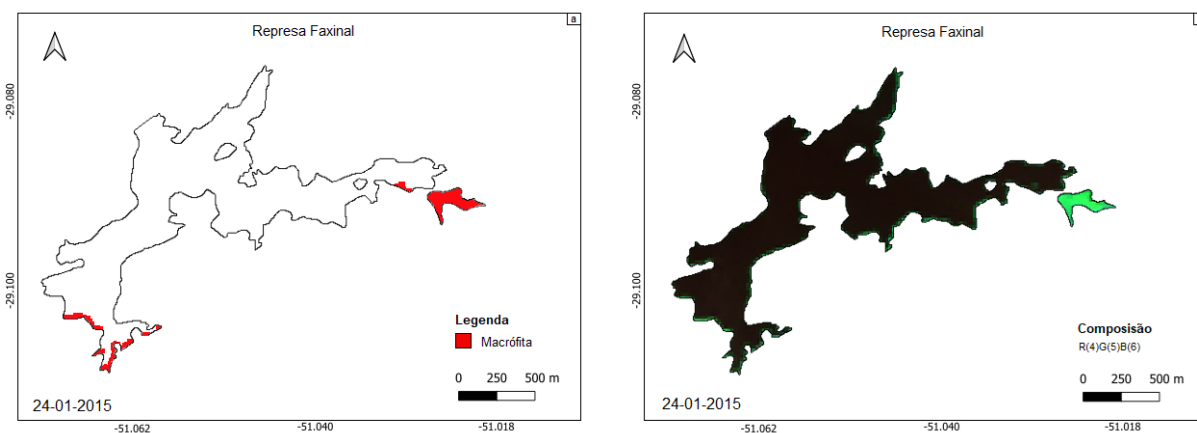


Figura 32 –Classificação para represa Faxinal: (a) Macrófita; (b)R(4)G(5)B(6).

A represa Maestra (Figura 33) apresentou classificação: Lago (51,5%), Ciano (34%) e Macrófita (14,4%). O fitoplâncton para a classe Ciano, ficando em: *Dinophyceae* (66%), *Euglenophyceae* (24%) e Outros (10%).

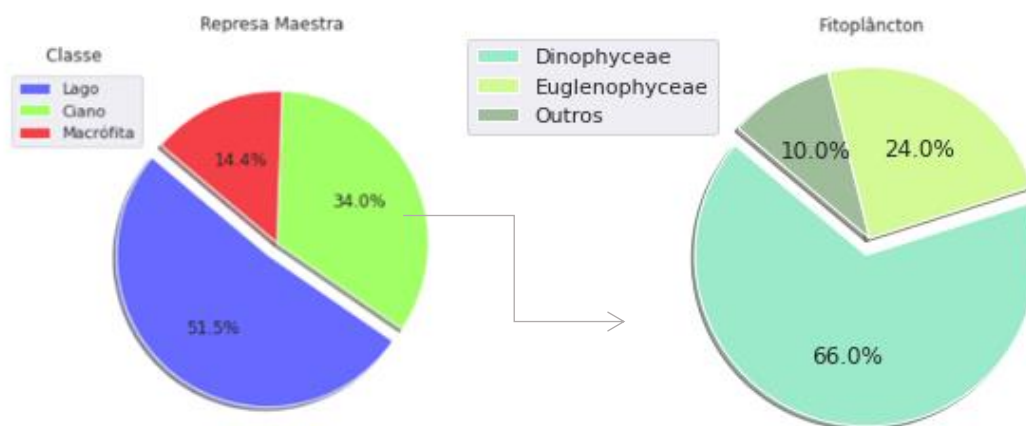


Figura 33 - Contagem de imagens por classe para Maestra:Lago-7, Ciano-5, Macrófita-2.

A imagem de satélite *Landsat 8* do dia 20/12/2013 apresentou pelo classificador predominância para classe ciano (Figura 34-a) e na (Figura 34-b) é possível visualizar a composição verdadeira. No dia (23/12/2013) apresentou concentrações de *Cyanobacteria* com 91 Ind.mL⁻¹ e *Dinophyceae* em 9.211 Ind.mL⁻¹.

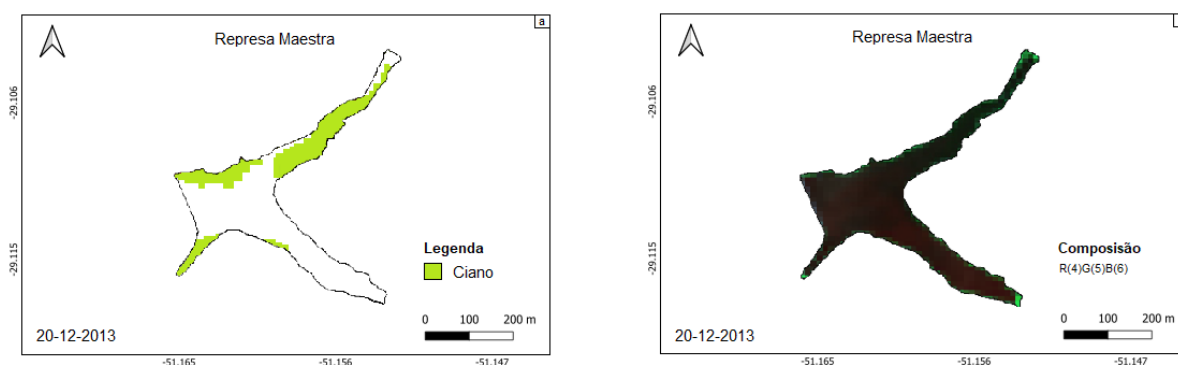


Figura 34 –Classificação para Maestra: (a) Ciano; (b)R(4)G(5)B(6).

A represa São Paulo (Figura 35) apresentou classificação: Ciano (22%) e Macrófita (78%). O fitoplâncton para a classe Macrófita, ficando em: *Chlorophyceae* (69%), *Cryptophyceae* (20%) e Outros (11%).

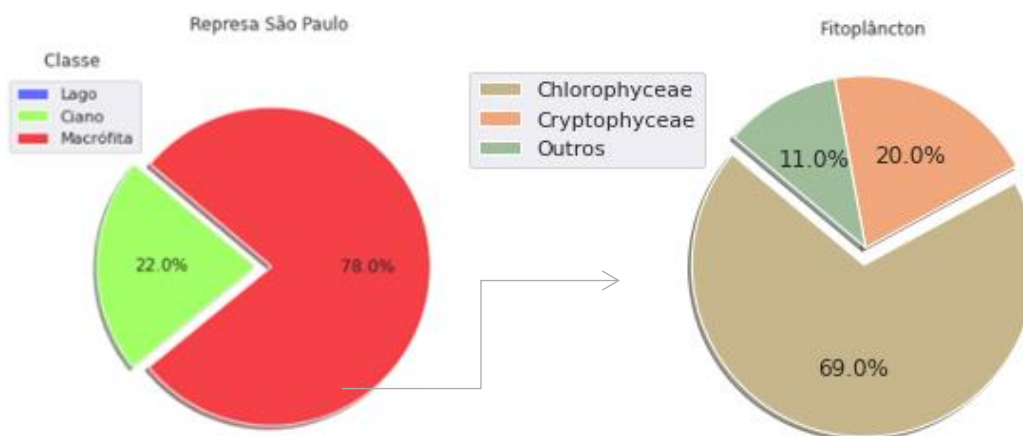


Figura 35 - Contagem de imagens por classe para São Paulo: Ciano-2, Macrófita-7.

A imagem de satélite *Landsat 8* do dia 16/09/2019 apresentou pelo classificador predominância para classe macrófita (Figura 36-a) e na (Figura 36-b) é possível visualizar a composição verdadeira. No dia (16/09/2019) apresentou concentrações de *Chlorophyceae* em 17.233 Ind.mL⁻¹.

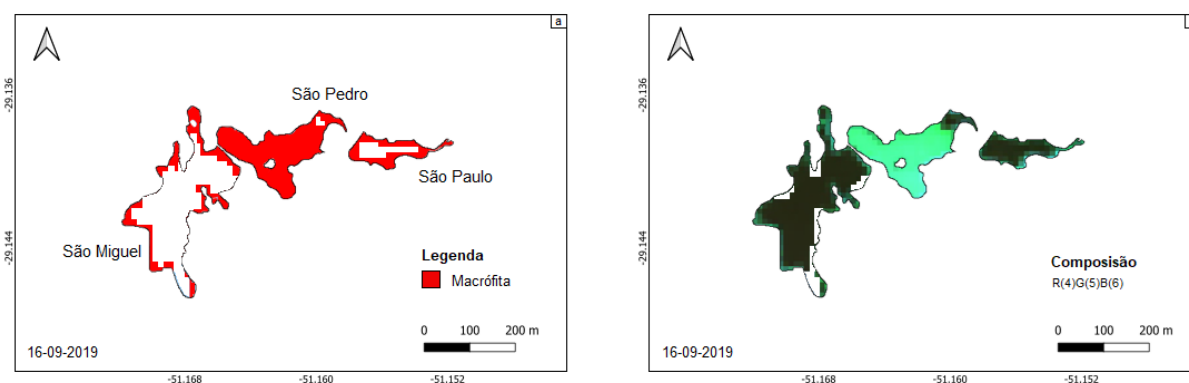


Figura 36 –Classificação para represa São Paulo: (a) Macrófita; (b)R(4)G(5)B(6).

A represa São Pedro (Figura 37) apresentou classificação: Ciano (17%) e Macrófita (83%). O fitoplâncton para a classe Macrófita, ficando em: *Chlorophyceae* (17,3%), *Cyanobacteria* (34,7%), *Cryptophyceae* (18,4%), *Chrysophyceae* (13,3%) e *Bacillariophyceae* (16,3%).

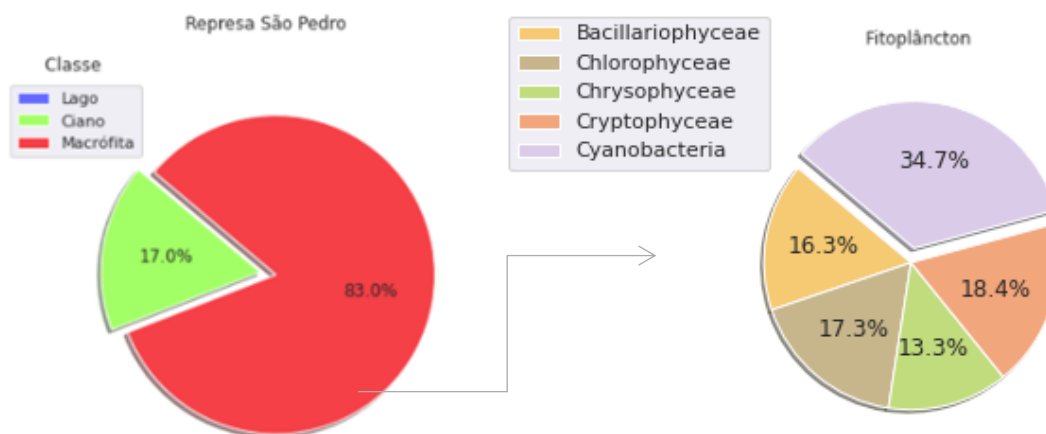


Figura 37 - Contagem de imagens por classe para São Pedro: Ciano-2, Macrófita-10

A imagem de satélite *Landsat 8* do dia 15/03/2016 apresentou pelo classificador predominância para classe macrófita (Figura 38-a) e na (Figura 38-b) é possível visualizar a composição verdadeira. No dia (15/03/2016) apresentou concentrações de *Chlorophyceae* em 9.886 ind/ml e *Cryptophyceae* com 2.647 Ind.mL⁻¹.

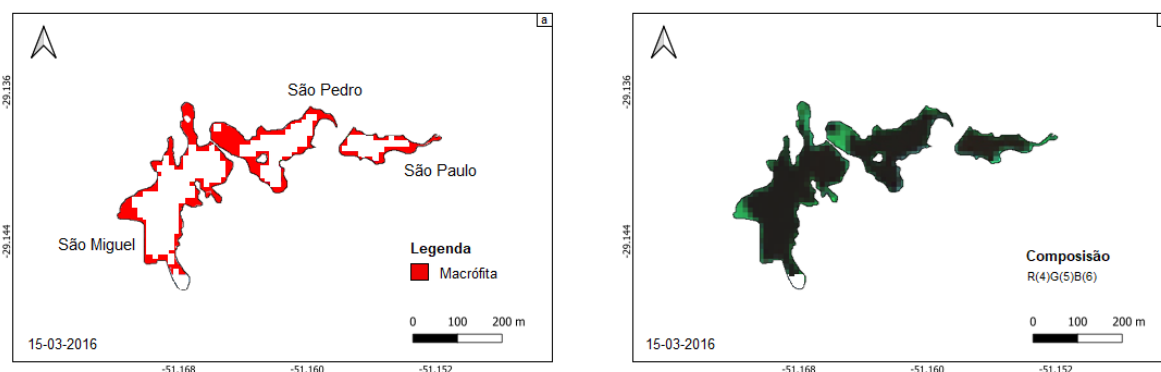


Figura 38 –Classificação para represa São Pedro: (a) Macrófita; (b)R(4)G(5)B(6).

A represa São Miguel (Figura 39) apresentou classificação: Ciano (56%) e Macrófita (44%). O fitoplâncton para a classe Ciano, ficando em: *Chlorophyceae* (89%) e Outros (11%).

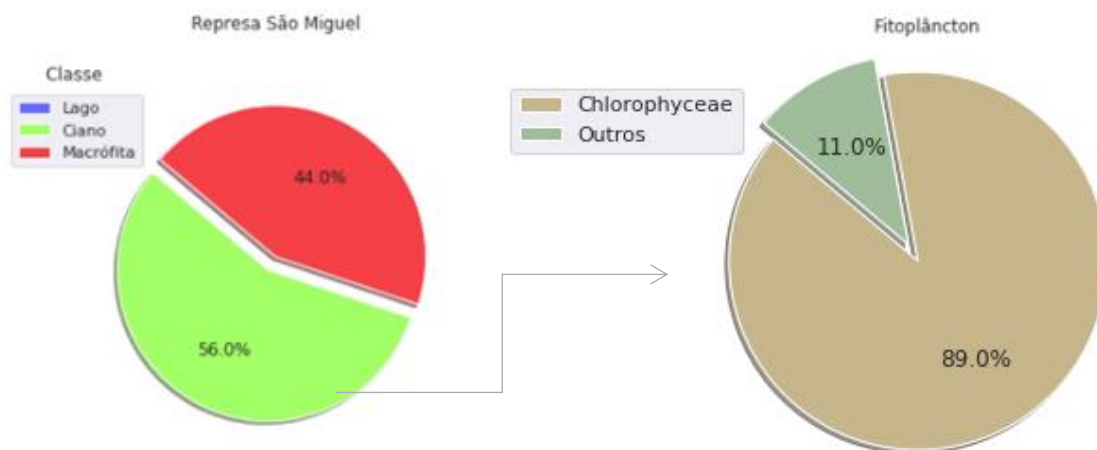


Figura 39 - Contagem de imagens por classe para São Miguel: Ciano-9, Macrófita-7

A imagem de satélite *Landsat 8* do dia 15/03/2016 apresentou pelo classificador predominância para classe ciano (Figura 40-a) e na (Figura 40-b) é possível visualizar a composição verdadeira. No dia (03/12/2013) apresentou concentrações de *Chlorophyceae* em 6.732 Ind.mL⁻¹, *Cryptophyceae* com 1.750 Ind.mL⁻¹.

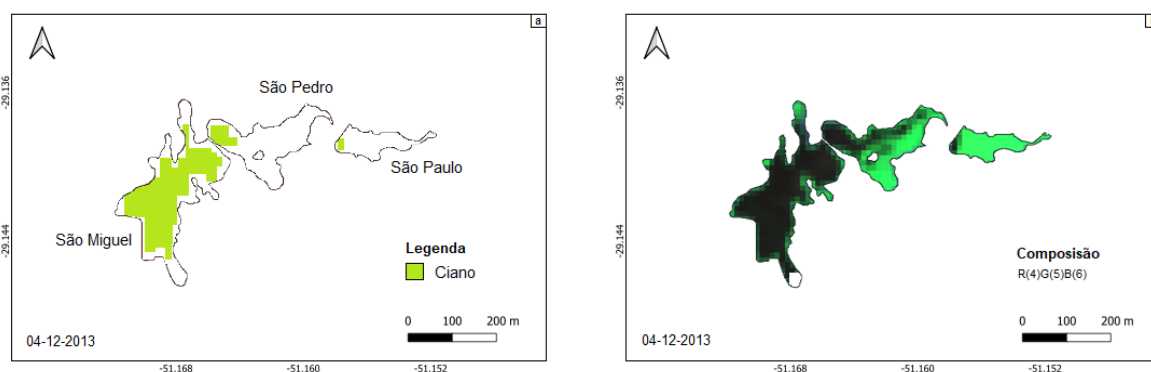


Figura 40 –Classificação para represa São Miguel: (a) Ciano; (b)R(4)G(5)B(6).

A represa Samuara (Figura 41) apresentou classificação: Lago (31%), Ciano (54%) e Macrófita (15%). O fitoplâncton para a classe Ciano, ficando em: *Bacillariophyceae* (31%), *Cyanobacteria* (34%), *Chlorophyceae* (23%) e Outros (12%).

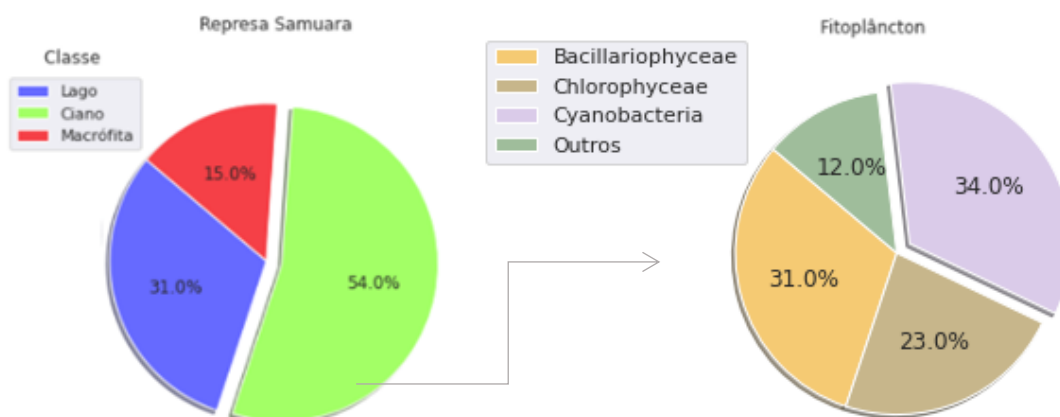


Figura 41 - Contagem de imagens por classe para Samuara:Lago-4, Ciano-7, Macrófita-2.

A imagem de satélite *Landsat 8* do dia 29/05/2014 apresentou pelo classificador predominância para classe Lago (Figura 42-a) e na (Figura 42-b) é possível visualizar a composição verdadeira. No dia (27/05/2014) apresentou concentrações de *Cyanobacteria* em 4.276 Ind.mL⁻¹ e *Bacillariophyceae* em 3.923 Ind.mL⁻¹.

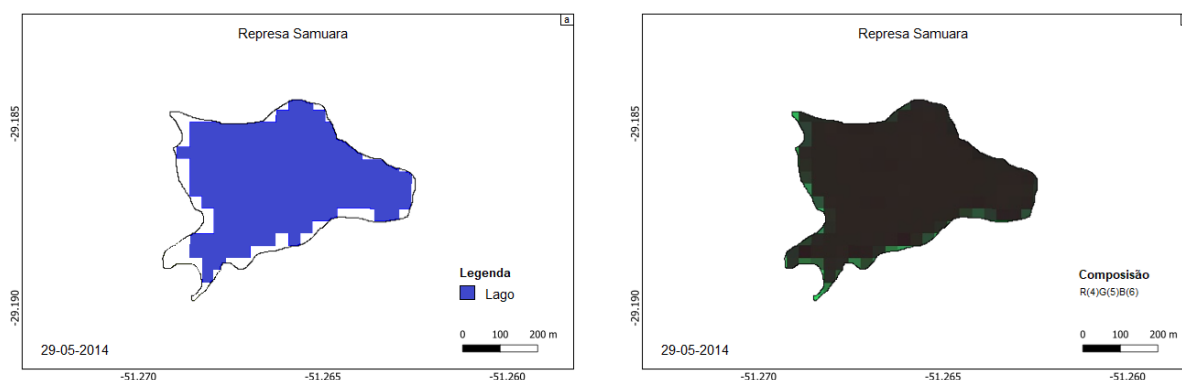


Figura 42 –Classificação para represa Samuara: (a) Lago; (b)R(4)G(5)B(6).

As espécies *Chlamydomonadales*, *Euglenophyceae*, *Prasinophyceae*, *Raphidophyceae*, *Xanthophyceae*, *Zygnemaphyceae* se enquadram na categoria outros por apresentarem proporções menores.

A presença de cianobactérias na água pode estar associada à contribuição de esgotos domésticos oriundos de áreas urbanizadas e da baixa recuperação do nível da água durante os períodos de seca. Diversos estudos mostram que *Cyanobacteria* são normalmente encontradas em ambientes eutróficos (KOMÁREK, 2003). Segundo estudos de Toledo e Nicolella (2002), mencionam que as áreas de agricultura e pastagem e zonas urbanas contribuem para o aumento da concentração de nitrogenados e fosfatos na água, relacionados, principalmente, com despejos domésticos, fertilizantes e excrementos de animais.

Em visitas de campo nos meses de janeiro e fevereiro de 2021 foram observadas nas represas do Complexo Dal Bó as espécies de plantas aquáticas *Eichhornia crassipes* e *Salvinia auriculata*. Conforme Kutty, Ngatenah e Malakahmad (2009) a espécie *Eichhornia crassipes* é capaz de suportar altas concentrações de nutrientes. A variação da biomassa das macrófitas *Eichhornia crassipes* em regiões subtropicais é muitas vezes influenciada por variações sazonais de luz e temperatura e a *Salvinia auriculata* cresce rapidamente em corpos d'água, cobrindo completamente a superfície por várias semanas (POTT & POTT, 2000). Estudos de Krienitz & Bock, (2012) indicam que a *Chlorophyceae* é conhecida como uma das maiores famílias das algas verdes. Esta espécie *Chlorophyceae* atinge altas taxas de crescimento quando aumentado a disponibilidade de nutrientes e muitas vezes relacionadas com o processo de eutrofização (BIGGS, 1996). Essa classe de algas verdes estão mais bem representadas em outro estudo realizado em comunidades fitoplanctônicas em lagos artificiais rasos em cidades brasileiras (CECY *et al.*, 1976). A existência dessas espécies também foi registrada em um lago urbano eutrófico (CROSSETTI & BICUDO, 2008).

6. Conclusão

Neste trabalho foi realizado uma avaliação ambiental das bacias de captação e da qualidade da água nas represas que atendem o abastecimento público na cidade de Caxias do Sul -RS e através de uma análise mais aprofundada da série de dados das represas foi possível identificar possíveis déficit de oxigênio dissolvido em algumas represas em diversos períodos ao longo do monitoramento associado a baixa qualidade de outros parâmetros monitorados o que pode estar causando danos ao ecossistema. Os resultados evidenciaram haver um comportamento hidroquímico/limnológico bastante diferenciado entre às sete represas de Caxias do Sul. Este comportamento varia tanto entre as represas quanto ao longo do tempo em cada uma delas. Cabe destacar que a série de dados de monitoramento da SAMAE é bastante longa e consistente o que propiciará uma interpretação estatística relevante.

Foi evidenciado um método eficaz para distinguir florações de macrófitas aquáticas e cianobactérias através de análises de dados de imagens de satélite *Landsat 8* e de medições espectrais com índice de NDVI (bandas 4 e 5) e NDWI (bandas 3 e 5) proposto por Oyahma, (2015) podendo separar cada represa em tres classes (Lago -Ciano -Macrófita).

Com relação aos índices espectrais de NDVI e NDWI existe pouca correlação com os parâmetros físicos e químicos da água, pois, as diferentes represas apresentam diferentes dados de cada parâmetro limnológico. O mesmo acontece para os parâmetros de fitoplâncton. Porém, quando estudado em particular em cada represa, pode-se observar algumas correlações com os índices espectrais e os parâmetros de qualidade da água.

Com relação à quantidade de imagens de satélite selecionada pela árvore de decisão por classe, por exemplo, nas represas do Complexo Dal Bó a análise apontou a frequência mensal da ocorrência de macrófitas nos períodos de 2013 até 2019.

Através das imagens e satélite *Landsat 8* foi possível visualizar no Complexo Dal Bó que as macrófitas aquáticas costumam se alojar próximo às margens, porém não fica claro um padrão de deslocamento sazonal, pois fatores abióticos, tais como variação do nível da água, profundidade da margem, vento, entre outros, interferem no deslocamento e na sua reprodução.

A importância da plataforma *Google Earth Engine* no contexto do desenvolvimento da evolução da tecnologia através de técnicas de sensoriamento remoto, permite criar várias análises espaciais, como monitoramento de recursos hídricos em uma área específica.

Para tanto, o sensoriamento remoto e a utilização de imagens de satélite *Landsat 8* vem a ser considerado uma abordagem adequada para monitorar a ocorrência da proliferação de macrófitas aquáticas e cianobactérias nas represas do município de Caxias do Sul - RS. Algumas limitações são encontradas no satélite *Landsat 8*, pois sua resolução espacial é de apenas 30 m, o que é uma grande desvantagem em comparação com outros satélites, porém há a grande vantagem de suas imagens serem distribuídas gratuitamente e ter uma série temporal de mais de 40 anos.

As represas São Paulo, São Pedro, São Miguel e Faxinal apresentaram com maior predominância a classe macrófita. Nas represas Maestra e São Miguel foi identificada a presença da classe ciano. A represa Marrecas e a represa Samuara apresentaram com maior predominância a classe Lago. Apesar da classificação da imagem indicar a classe Ciano, não necessariamente o fitoplâncton predominante é *Cyanobacteria*.

Contudo, foi possível desenvolver o trabalho sem a necessidade de ir a campo o que proporcionou agilidade para a realização da pesquisa proposta. Os

resultados de parâmetros de qualidade da água fornecidos pela SAMAE contribuíram para análise de questões relacionadas à qualidade da água e às espécies de algas presentes nos ambientes aquáticos.

7. Recomendações

É recomendado que as coletas de campo sejam propostas nas mesmas datas da passagem dos satélites em geral a fim de desenvolver outro estudo futuramente.

Desta forma sugere-se investigar as causas destes déficits de oxigênio, verificar se estão relacionadas a parâmetros climatológicos ou a entradas antrópicas.

Recomendam-se também estudos voltados às possíveis alterações nos recursos hídricos provocados pela alteração do uso e ocupação do solo nas represas de Caxias do Sul, bem como análises de solo próximas ao Cemitério Parque e às regiões do contemplam o Complexo Dal Bó. Este trabalho também pode servir como base para modelos de ocorrência de macrófitas aquáticas e cianobactérias em outras regiões e cenários futuros.

8. Referências bibliográficas

BICUDO, C. E. de M.; MENEZES, M. Gêneros de algas de águas continentais do Brasil: chave para identificação e descrições. Editora Rima. 2005.

BRASIL - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação do Instituto de Pesquisas Rodoviárias - **Manual de Hidrologia Básica para Estruturas de Drenagem**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2005.

BIGGS, B.J.F., 1996. **Patterns in benthic algal of streams**. In: STEVENSON, R.J.; BOTHWELL, M.L.; LOWE, R.L. (Ed.). *Algal ecology: freshwater benthic ecosystems*. San Diego: Academic Press. cap. 2, p. 31-56.

CECY, I.I.T., MOREIRA, I.M.V. & HOHMANN, E. 1976. **Estudo fisiológico e químico-bacteriológico da água do tanque do passeio público de Curitiba**, Estado do Paraná – Brasil. Boletim do Museu Botânico Municipal 25:1-37.

CRESPO, A. A. **Estatística fácil**. São Paulo: Saraiva. 2002.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, ano 142, n.53, 18 mar. 2005. Seção 1, p.58-63.

CORADI, P. C.; FIA, A. R.; PEREIRA-RAMIREZ, O. Avaliação da qualidade da água superficial dos cursos de água do município de Pelotas-RS, Brasil. **Revista Ambiente**

& Água, Taubaté, v. 4, n. 2, p. 46-56, 2009.

CORDAZZO, C.A. e SEELINGER, U. **Guia ilustrado da vegetação costeira no extremo sul do Brasil**. Rio Grande, Ed. da FURG, 275p, 1988.

CAMPS - VALLS, G.; TUIA, D.; GÓMEZ - CHOVA, L.; JIMÉNEZ, S.; MALO, J. **Remote Sensing Image Processing. Synthesis Lectures on Image, Video, and Multimedia Processing**, v. 5, n. 1, p. 1 – 192, 2011. Morgan & Claypool Publishers LLC DOI: 10.2200/s00392ed1v01y201107ivm012.

CROSSETTI, L.O. & BICUDO, C.E.M. 2008. **Adaptations in phytoplankton life strategies to composed change in a shallow urban tropical eutrophic reservoir, Garças Reservoir, over 8 years**. *Hydrobiologia* 614: 91-105.

CHORUS, I. & Bartram, J. 1999. **Toxic Cyanobacteria in water: A guide to the Public Health Consequences, Monitoring and Management**. E & FN Spon, London. 416p.

DINIZ, C. R.; CEBALLOS, B. S. O.; BARBOSA, J. E. L.; KONIG, A. **Uso de macrófitas aquáticas como solução ecológica para melhoria da qualidade de água**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, Suplemento, p.226-230, 2005.

DUONG, P.; TRUNG, T; NASAHARA, K.; TADONO, JAXA, T. **High-resolution land use/land cover map for central Vietnam in 2007 and 2017**. *Remote Sensing*, Basel, v. 10, n. 9, p. 1406-1429, 2018.

FEPAM (FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL) Henrique Luiz Roessler. Disponível em: http://www.fepam.rs.gov.br/biblioteca/geo/bases_geo.asp >. Acesso em 14 maio, 2021.

FERREIRA, B.ZIMMERMANN, D. M.; CRISPIM, L. C.; FLASH, M. F.; VIEIRA, C. A. O. **Análise sazonal das temperaturas superficiais do estado de Santa Catarina entre os anos de 2000 e 2010**. In: Anais do XXVII Congresso Brasileiro de Cartografia e XXVI Exposição cartográfica. p. 933-937, SBC, Rio de Janeiro -RJ, 6 a 9 de novembro de 2017.

GORELICK, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., and Moore, R. (2017). **Google earth engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone**. *Remote sensing of Environment*, 202:18–27.

HOROWITZ, F. G. **MODIS Daily land surface temperature estimates in Google Earth Engine as an aid in geothermal energy siting**. In: Proceedings World Geothermal Congress 2015. Melbourne, Australia, 19 a 25 April, 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo Demográfico**. 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: mar. 2021.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. 2 ed. São José dos Campos: Parêntese, 2009, 604 p

KRIENITZ, L. & BOCK, C. 2012. **Present state of the systematics of planktonic**

coccoid green algae of inland waters. Hydrobiologia. Published online: 1-32.

KOMÁREK, J. 2003. **Coccoid and colonial Cyanobacteria.** Pp 59-116 In: J.D. Wehr & R.G. Sheath (eds.) Freshwater algae of North America: ecology and classification. USA, Academic Press. 950p.

KUTTY, S.R.M., NGATENAH, S.N.I., ISA, M.H., & MALAKAHMAD, A. (2009). **Nutrients removal from municipal wastewater treatment plant effluent using *Eichhornia crassipes*.** International Scholarly and Scientific Research & Innovation. 3(12), 414-419.

LOSCHIAVO, R. (2017) **Ecoeficientes -Escritório de arquitetura especializado em Sustentabilidade.** Disponível em <http://www.ecoeficientes.com.br/quais-especies-de-plantas-conseguem-filtrar-a-agua/>? [acesso 20 de abril. 2021].

LOURENÇATO, L. F. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Brasil, 2010.

MAPBIOMAS. Disponível em: <<https://mapbiomas.org/>>. Acesso em: mai. 2021.

MELO, E. T., Sales, M. C. L., Oliveira, J. G. B.; **Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para análise da degradação ambiental da microbacia hidrográfica do Riacho dos Cavalos, Crateús-CE.** O Espaço Geográfico em Análise, Revista do Departamento e Programa de Pós-Graduação - Mestrado e Doutorado em Geografia da Universidade Federal do Paraná apoio Especialização em Análise Ambiental - DGEOP – UFPR. RA'E GA 23 (2011), p. 520-533. Curitiba - UFPR.

OLIVEIRA JUNIOR, M. J. 2011. **Uso de macrófitas da espécie Pistia stratiotes (alface d'água) como combustível sólido para fornalhas industriais, uma análise de viabilidade técnica e econômica.** Dissertação (MPAGRO) - Escola de Economia de São Paulo. 56 f. 2011.

OYAMA, Y.; MATSUSHITA, B.; FUKUSHIMA, T. Distinguishing surface cyanobacterial blooms and aquatic macrophytes using Landsat/TM and ETM+ shortwave infrared bands. **Remote Sensing of Environment**, v. 157, fev. 2015.

POTT, V. J.; POTT, A. **Plantas aquáticas do Pantanal.** Brasília: Ed. Embrapa, 2000. 404 p.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento Remoto da Vegetação.** 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 176p.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no Estudo da Vegetação.** São José dos Campos: A. Silva Vieira Ed., 2007. 127 p.

POMPÊO, M.L.M. **Monitoramento e manejo de macrófitas aquáticas em reservatórios tropicais brasileiros / Marcelo Pompêo.** -- São Paulo; Instituto de Biociências da USP, 2017. 138 p. : il.

QGIS Development Team. QGIS **Geographic Information System.** Open Source Geospatial Foundation Project. 2020. Disponível em: <<http://qgis.osgeo.org>>. Acesso em: mar. 2021.

REN, M.X. & ZHANG, Q.G. 2007. **Clonal diversity and structure of the invasive aquatic plant *Eichhornia crassipes* in China.** Aquatic Botany. 87:242-246.

REYNOLDS, C.S. 2006. *Ecology of Phytoplankton*, Cambridge University Press, Cambridge, UK. 535p., <http://dx.doi.org/10.1017/CBO9780511542145>

RIGON, R. 2014. Pioneiro. **Represa São Paulo, em Caxias do Sul, está tomada por plantas aquáticas.** Disponível em <https://gauchazh.clicrbs.com.br/pioneiro/geral/noticia/2014/06/represa-sao-paulo-em-caxias-do-sul-esta-tomada-por-plantas-aquaticas-4524915.html>>Link: Acesso em: 20/05/2021

SAMAE (SERVIÇO AUTÔNOMO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTO DE CAXIAS DO SUL). Disponível em: <https://www.samaecaxias.com.br/Pagina/Index/10044>>. Acesso em 04/03/2021.

STRAŠKRABA, M.; TUNDISI, J. G. **Diretrizes para o gerenciamento de lagos: Gerenciamento da qualidade da água de represas.** Série Gerenciamento da qualidade da água de represas. Instituto Internacional de Ecologia, São Carlos, São Paulo, v. 9, n. 3, p. 55, 2013.

SILVA, T. S. F.; COSTA, M. P. F.; MELACK, J. M. **Assessment of two biomass estimation methods for aquatic vegetation growing on the Amazon Floodplain.** Aquatic Botany, v. 92, n. 3, p. 161-167, 2010.

SOMMER, J. A. P.; SALDANHA, D. L. **Alterações nas paisagens dos campos de cima da serra e estratégias de desenvolvimento econômico.** In: ENCONTRO NACIONAL DOS GEÓGRAFOS, 16., 2010, Porto Alegre. Anais eletrônicos... São Paulo: AGB, 2010. Disponível em: . Acesso em: 30 mar. 2021.

TOLEDO, L. G. de; NICOLELLA, G. **Índice de qualidade de água em microbacia sob uso agrícola e urbano.** Scientia Agrícola, São Paulo, v. 58, n. 1, p. 181-186, jan. 2002

TUKEY J.W. **Box-and-Whisker Plots.** In: Exploratory Data Analysis. Reading, MA: Addison-Wesley; 1977. p. 39-43.

USGS. United States Geological Survey 2021. **Landsat Missions.** Disponível em : https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-8?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con Acesso em: 13 mai. 2021.

WALLACE, S. D.; KNIGHT, R. L. **Small-scale constructed wetland treatment systems: Feasibility**, design criteria, and O&M requirements - Final Report. London, United Kingdom IWA Publishing, 2006.

WOOLDRIDGE, Jeffrey M. **Introductory Econometrics: a Modern Approach.** 2000, South-Western College Publishing, a division of Thomson Learning. Cap.1, pg.8.

[illegible]

APÊNDICE B - Uso de Ocupação do Solo 2013 e 2019

Tabela 12– Uso de Ocupação do Solo 2013 (em ha) nas bacias de captação de Caxias do Sul-RS. Fonte: (MAP BIOMAS, 2021)

2013	Marrecas	Faxinal	Maestra	Dal Bó	Samuara
Formação Florestal	1366	3631	773	302	431
Floresta Plantada	85	308	7	7	6
Formação Campestre	2842	851	0	0	0
Agricultura e Pastagem	799	1560	438	152	117
Infraestrutura Urbana	20	28	244	142	91
Não Observado	117	78	26	1	3
Rio, Lago e Oceano	101	228	42	37	24

Tabela 13 – Uso de Ocupação do Solo 2019 (em ha) nas bacias de captação de Caxias do Sul-RS. Fonte: (MAP BIOMAS, 2021)

2019	Marrecas	Faxinal	Maestra	DalBó	Samuara
Formação Florestal	1326	3658	830	319	438
Floresta Plantada	104	345	7	7	7
Formação Campestre	2809	750	0	0	0
Agricultura e Pastagem	786	1584	366	115	100
Infraestrutura Urbana	21	29	256	158	95
Não Observado	95	94	28	6	6
Rio, Lago e Oceano	179	222	41	37	24

APÊNDICE C - Contagem de fitoplâncton

Tabela 14 – Contagem de espécies por famílias de fitoplâncton (ind.mL⁻¹) por represa em Caxias do Sul.

	<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Chlamydomphyceae</i>	<i>Chlorophyceae</i>	<i>Chrysophyceae</i>	<i>Cryptophyceae</i>	<i>Cyanobacteria</i>	<i>Dinophyceae</i>	<i>Euglenophyceae</i>
Marrecas	2322	240	2003	181	602	247307	2107	28
Faxinal	1279	247	17740	74	2785	41347	18080	0
Maestra	144	37	632	182	1054	91	13928	5185
São Paulo	10289	2888	103117	0	29539	2931	0	420
São Pedro	28295	927	28705	19907	31137	57986	139	1713
São Miguel	11232	760	425053	201	10344	28469	558	297
Samuara	15930	282	11755	242	3653	17799	1921	45

APÊNDICE D - Datas de imagens de satélite *Landsat 8* em 2013

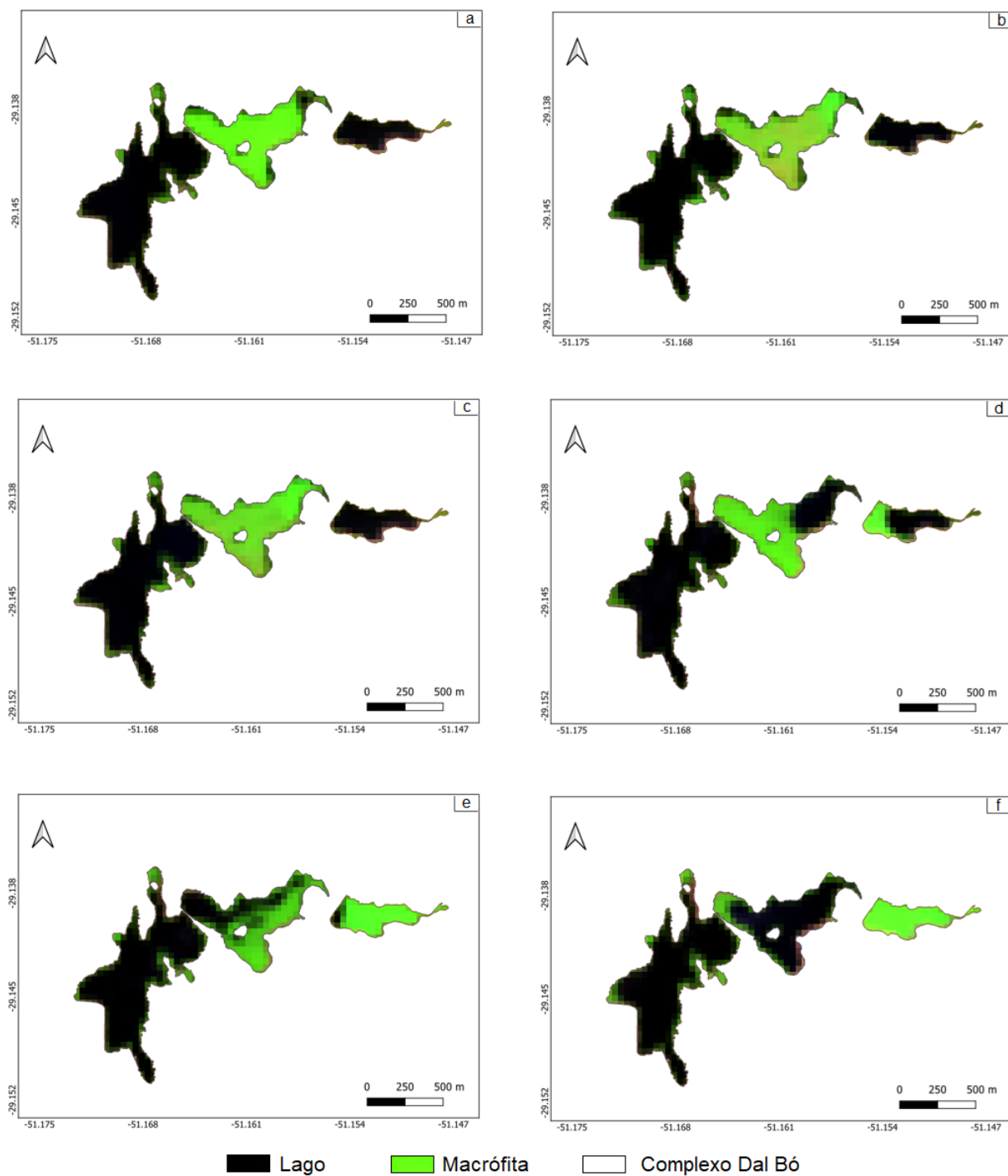


Figura 43: Datas de imagens de satélite Landsat 8: (24/04/2013-a), (29/07/2013-b), (30/08/2013-c), (18/11/2013-de), (04/12/2013-e), (20/12/2013-f). Composição R(4)G(5)B(6).

APÊNDICE E - Datas de imagens de satélite *Landsat 8* em 2019

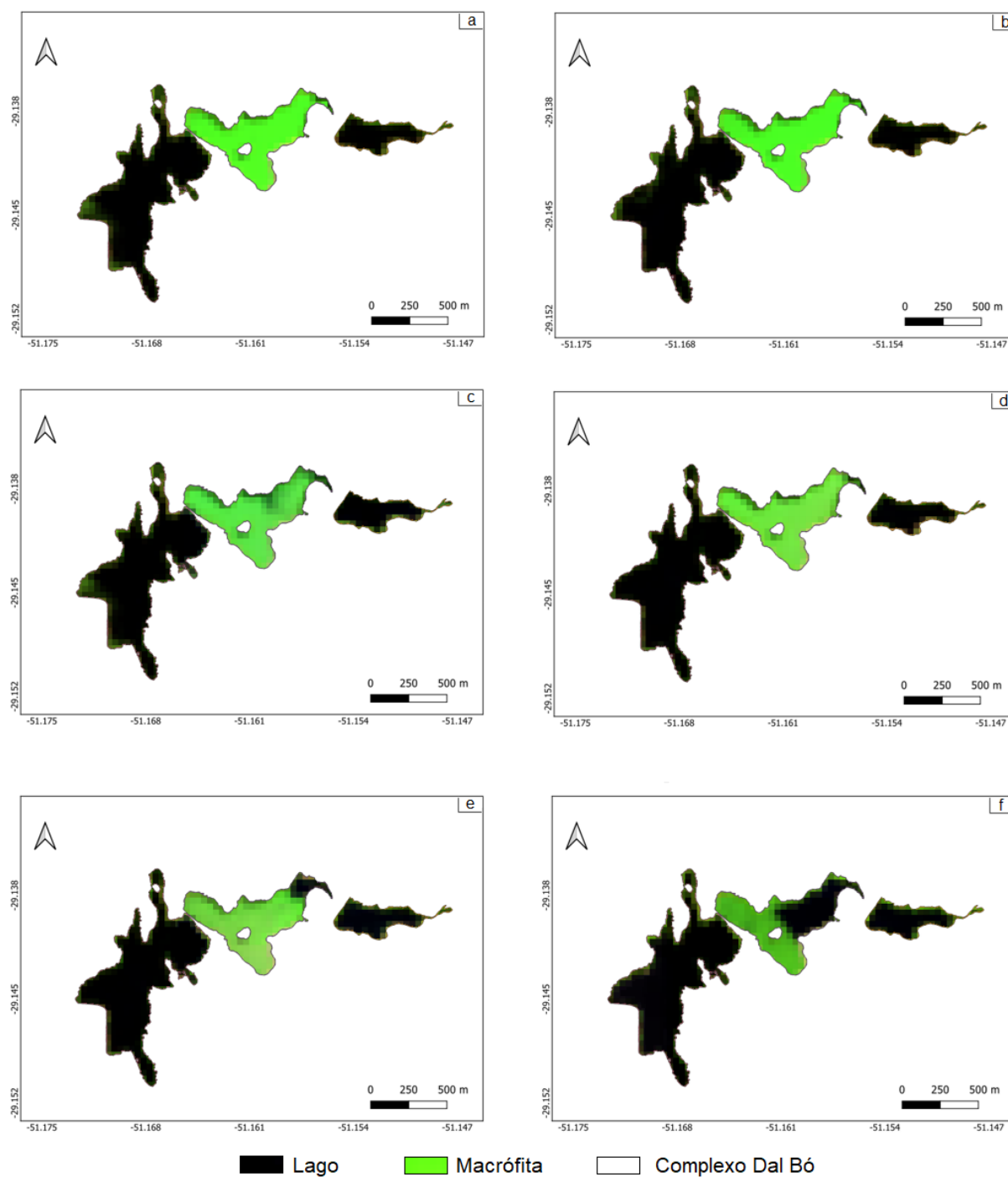


Figura 44: Datas de imagens de satélite Landsat 8: (24/03/2019-a), (09/04/2019-b), (30/07/2019-c), (15/08/2019-d), (16/09/2019-e), (19/11/2019-f). Composição R(4)G(5)B(6).