

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E EXATAS
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GEOGRAFIA

Daniel Lucas Balin

**USO DE SENSORIAMENTO REMOTO PARA IDENTIFICAR
OCORRÊNCIAS DE FLORAÇÕES DE ALGAS NO RESERVATÓRIO
PASSO REAL - RIO GRANDE DO SUL**

Santa Maria, RS
2023

Daniel Lucas Balin

**USO DE SENSORIAMENTO REMOTO PARA IDENTIFICAR OCORRÊNCIAS DE
FLORAÇÕES DE ALGAS NO RESERVATÓRIO PASSO REAL - RIO GRANDE DO
SUL**

Trabalho de conclusão de curso, apresentado ao Curso de Geografia Licenciatura, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) como requisito parcial para obtenção do título de **Licenciado em Geografia**.

Orientador: Prof. Dr. Waterloo Pereira Filho

Santa Maria, RS
2023

Daniel Lucas Balin

**USO DE SENSORIAMENTO REMOTO PARA IDENTIFICAR OCORRÊNCIAS DE
FLORAÇÕES DE ALGAS NO RESERVATÓRIO PASSO REAL - RIO GRANDE DO
SUL**

Trabalho de conclusão de curso, apresentado ao Curso de Geografia Licenciatura, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) como requisito parcial para obtenção do título de **Licenciado em Geografia**.

Aprovado em 12 de dezembro de 2023:

Prof. Dr. Waterloo Pereira Filho, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Prof. Dra. Maria Silvia Pardi Lacruz (UFSM)

Prof. Dra. Gisieli Kramer (UFSM)

Santa Maria, RS
2023

DEDICATÓRIA

Dedico o esforço da realização desse trabalho para aqueles e aquelas que não buscam a glória pessoal, mas sim a transformação de uma sociedade desigual em uma comunidade mais justa e solidária para todos(as).

AGRADECIMENTOS

Concluir fases da vida são sempre motivos de reflexão sobre os ensinamentos, planos futuros e agradecimentos. Neste momento quero demonstrar gratidão para aqueles e aquelas que durante todo esse tempo da minha graduação estiveram ao meu lado, me encorajando, demonstrando afeto e me motivando para que eu continuasse em minha caminhada e acompanharam as pequenas vitórias cotidianas desse longo processo de graduação.

Aos meus pais todo o amor e gratidão pela confiança depositada em mim e no apoio incondicional. Juntamente com meus amigos e familiares, entenderam os momentos de ausência devido ao período que dediquei aos meus estudos. Compensei essa ausência me dedicando e realizando todos os compromissos acadêmicos, políticos e pessoais em que estive inserido, fazendo o que avalei certo de se fazer e priorizando pela busca da excelência em cada lugar em que estive.

Aos meus companheiros e companheiras da Juventude da Articulação de Esquerda - JAE, todo carinho e gratidão pelos momentos compartilhados e conhecimentos socializados.

Em minha formação acadêmica, devo agradecer imensamente ao movimento estudantil e principalmente as gestões do Diretório Central das e dos Estudantes - DCE em que participei de 2019 a 2023, agradeço aos meus companheiros e companheiras que dividiram essas trincheiras importantes comigo, lutando e conquistando melhorias para as e os estudantes da UFSM. Estendo as mesmas considerações ao Diretório Acadêmico da Geografia - DAGEO UFSM. Nesse sentido ainda, destaco a importante passagem pela União Estadual dos Estudantes - UEE Dr Juca, na qual pude acompanhar por meio da diretoria executiva, a retomada dessa histórica e importante entidade para as e os estudantes gaúchos.

No ambiente acadêmico, elevo meus agradecimentos ao LABGEOTEC - Laboratório de Geotecnologias, local onde pude desenvolver toda essa pesquisa e que me proporcionou entrar na vida acadêmica e da produção científica. Agradeço também a equipe do laboratório e ao meu orientador que me acompanhou nesse processo e me deu todo auxílio necessário para a conclusão desta etapa.

Por fim, quero agradecer à Universidade Federal de Santa Maria e ao seu programa de Assistência Estudantil que garantiu minha formação em um curso superior e a vivenciar diversas experiências dentro da instituição. Tanto pelas bolsas remuneradas, Restaurante Universitário e Casa do Estudante. Sem isso jamais poderia ser um dos primeiros da minha família a ter uma formação e frequentar uma universidade.

"a humanidade não se propõe nunca os problemas que ela não pode resolver, pois, aprofundando-se a análise, ver-se-á sempre que o próprio problema só se apresenta quando as condições materiais para resolvê-lo existem ou estão em vias de existir"

(Karl Marx)

RESUMO

USO DE SENSORIAMENTO REMOTO PARA IDENTIFICAR OCORRÊNCIAS DE FLORAÇÕES DE ALGAS NO RESERVATÓRIO PASSO REAL - RIO GRANDE DO SUL

AUTOR: Daniel Lucas Balin
ORIENTADOR: Waterloo Pereira Filho

O monitoramento da superfície terrestre por meio do sensoriamento remoto é favorecido cada vez mais pelo progresso nas resoluções temporal, espacial, espectral e radiométrica dos sensores acoplados aos satélites de recursos naturais. Com o uso dessa tecnologia, a presente pesquisa objetivou analisar o padrão de ocorrência de florações algais entre 2013 a 2019, no reservatório Passo Real localizado no alto curso da bacia hidrográfica do Rio Jacuí, no município de Salto do Jacuí - RS. Do mesmo modo, foram realizados estudos sobre a precipitação pluviométrica, a temperatura da superfície da água e o uso e ocupação do solo para esse recorte temporal, a fim de identificar a relação desses fatores na dinâmica do reservatório. Utilizou-se, nessa abordagem, séries de imagens do satélite Landsat 8, que possui a bordo o sensor Operational Land Imager (OLI), para avaliar a presença de tais florações. Durante a avaliação foi possível analisar os pigmentos opticamente ativos das algas por meio da identificação da sua reflectância espectral nas áreas de ocorrência no reservatório. Mediante a análise, essa pesquisa possibilitou constatar que a ocorrência das florações das algas ocorreram nos períodos de primavera, nos anos de 2015, 2017 e 2019. Associados a períodos de elevação das temperaturas da superfície da água, elevadas precipitações e solo exposto no entorno do reservatório.

Palavras-chave: Florações de Algas; Imagens de Satélite; Reservatório Passo Real; Sensoriamento Remoto; Sensor OLI/Landsat.

ABSTRACT**USE OF REMOTE SENSING TO IDENTIFY OCCURRENCES OF ALGAE BLOOMS
IN THE PASSO REAL RESERVOIR - RIO GRANDE DO SUL**

AUTHOR: Daniel Lucas Balin
ADVISOR: Waterloo Pereira Filho

Monitoring the Earth's surface through remote sensing is increasingly favored by progress in the temporal, spatial, spectral and radiometric resolutions of sensors coupled to natural resources satellites. Using this technology, the present research aimed to analyze the pattern of occurrence of algal blooms between 2013 and 2019, in the Passo Real reservoir located in the upper reaches of the Jacuí River basin, in the municipality of Salto do Jacuí - RS. Likewise, studies were carried out on rainfall, water surface temperature and land use and occupation for this time frame, in order to identify the relationship between these factors in the dynamics of the reservoir. In this approach, series of images from the Landsat 8 satellite, which has the Operational Land Imager (OLI) sensor on board, were used to assess the presence of such blooms. During the evaluation it was possible to analyze the optically active pigments of the algae by identifying their spectral reflectance in the areas of occurrence in the reservoir. Through analysis, this research made it possible to verify that the occurrence of algal blooms occurred in the spring periods, in the years 2015, 2017 and 2019. Associated with periods of increased water surface temperatures, high rainfall and exposed soil around the reservoir.

Keywords: Algae blooms; Satellite Images; Passo Real Reservoir; Remote sensing; OLI/Landsat Sensor.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo	15
Figura 2 - Fluxograma de processos da pesquisa	22
Figura 3 - Interface do portal <i>EarthExplorer</i> da <i>USGS</i>	24
Figura 4 - Gráficos comparativos do padrão espectral da ocorrência de algas e resposta espectral sem ocorrência	27
Figura 5 - Mosaico das imagens e gráficos do reservatório com ocorrência de algas	29
Figura 6 - Gráfico da temperatura superficial da água da área central do reservatório Passo Real	30
Figura 7 - Precipitação média mensal de 2013 a 2019	31
Figura 8 - Mapa comparativo do uso e ocupação do solo no período de novembro de 2017 (A) e de janeiro de 2016 (B)	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Especificações das bandas espectrais do sensor <i>OLI (Operational Land Imager)</i>	24
Tabela 2 – Relação da quantidade de imagens utilizadas, com suas respectivas datas	27
Tabela 3 – Relação da ocorrência das algas nas imagens analisadas	29
Tabela 4 – Total de sólidos em suspensão em mg/L por períodos	33

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. Objetivo	14
3. Área de estudo	15
4. Fundamentação Teórica	17
4.1 Algas em reservatórios	17
4.2 Temperatura da Superfície da Água - TSA	18
4.3 Uso e ocupação do solo no entorno das bacias hidrográficas	19
4.4 Precipitação Pluviométrica e a incidência das algas	20
5. Metodologia	22
6. Resultados e Discussões	26
7. Considerações Finais	35
Referências	37

1. INTRODUÇÃO

Reservatórios são ecossistemas artificiais, intermediários entre rios e lagos, apresentando características morfométricas e hidrológicas distintas, com organizações verticais e horizontais diferenciadas. Sua evolução depende de inúmeras variáveis distribuídas em escalas espaciais e temporais (Margalef, 1975).

Esses corpos hídricos tendem a entrar em desequilíbrio, devido às ações antrópicas que modificam o entorno imediato do leito dos rios e dos reservatórios, segundo Henry (1990), lagos e reservatórios são depositários dos eventos presentes e passados de sua bacia de drenagem e a dinâmica, a estrutura e o funcionamento desses ecossistemas aquáticos repousam, em parte, sob a influência externa. Em virtude disso, a quantidade de material sólido em suspensão nos reservatórios e conseqüentemente o aumento do nível trófico nos reservatórios sofrem alterações. Este processo é mais intenso em alguns locais e em certas épocas do ano.

Os organismos aquáticos, especialmente as algas, assumem um papel crucial como indicadores de alterações ambientais nos reservatórios de água. Sua capacidade de refletir desequilíbrios ecológicos ou impactos antropogênicos evidencia seu potencial para monitorar e diagnosticar a saúde dos ecossistemas aquáticos, oferecendo informações valiosas para a conservação e gestão desses preciosos recursos naturais. Contudo, o aumento descontrolado da quantidade de algas nos reservatórios pode resultar em problemas ambientais e de saúde.

Dentro desse contexto, a geração energética por meio das usinas que utilizam das vias hídricas, enfrenta dificuldades com o crescimento anômalo de algas e demais materiais sólidos nos reservatórios, devido aos desequilíbrios constantes na bacia hidrográfica. Deste modo, destaca-se os principais fatores que impactam na operacionalidade das usinas e estão associados ao material sólido em suspensão e ao aumento de nutrientes dissolvidos:

- a) A eutrofização do reservatório, formando extensas populações principalmente de algas, reduz a turbidez da água (ZIHANG MA, et al. 2023);
- b) O crescimento excessivo das algas, causam desequilíbrios químicos e físicos no reservatório, como por exemplo destaca-se, que a densa presença acaba obstruindo as turbinas

de geração energética, conforme relatado na notícia do jornal eletrônico Diário do Grande ABC sobre esse prejuízo na Usina Hidrelétrica de Jupia (1999);

c) As variações das condições hidrológicas causadas pela mudança de padrões de aparições de matéria sólida observada, gera efeitos significativos na qualidade da água, impactando assim na saúde daquela população. Estudos realizados por Camara et al. (2019) relataram que cerca de 87% e 82% dos estudos concluídos na Malásia entre 2015 e 2017 apontaram o uso do solo urbano e as atividades agrícolas, respectivamente, como os principais fatores na redução da qualidade da água no país; e

d) A precipitação pluviométrica excessiva em determinados períodos, que atrelado ao uso e ocupação do solo no entorno da bacia, transporta sedimentos ao leito dos rios e para dentro do reservatório, aumentando os teores de matéria orgânica e possibilitando o crescimento e proliferação das algas.

Alguns fatores podem ser apontados como agravantes e ou causadores dessa situação em determinados períodos. Segundo Esteves (1988), as atividades agrícolas podem ter grandes efeitos na eutrofização artificial dos corpos d'água, associadas principalmente a perdas de nutrientes a partir das terras cultivadas, seja pela lavagem superior do solo após as primeiras chuvas ou por lavagem e percolação de nutrientes solúveis que atingem o lençol freático.

Seguindo esse raciocínio, a presente pesquisa utiliza como parâmetro os estudos das precipitações do local, os quais podem influenciar os padrões de reflectância espectral e a quantidade de matéria orgânica que se acumula no reservatório nos períodos em que o solo se encontra exposto, devido a agricultura.

A partir dessa abordagem foi possível definir parâmetros que confirmam o período em que as florações ocorrem e, assim, compreender as influências do entorno do reservatório e, em maior escala, na totalidade da bacia hidrográfica.

Neste estudo foram utilizadas as imagens geradas pelo satélite *Landsat-8*. Destaca-se que as florações de algas apresentam pigmentos opticamente ativos, viabilizando a utilização de sensores de radiação para a sua detecção. Desta forma, o sensoriamento remoto torna-se uma alternativa eficaz no seu monitoramento (CICERELLI, 2015).

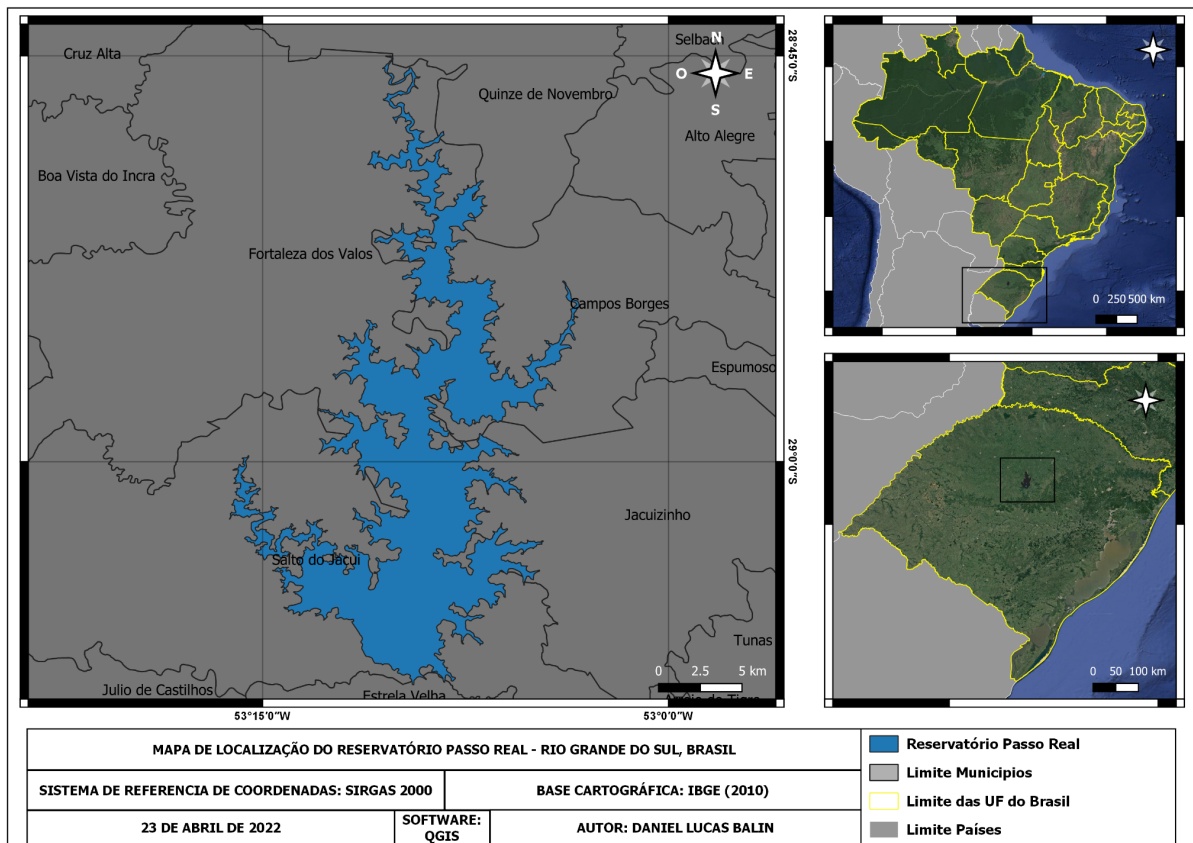
2. OBJETIVO

Esta pesquisa teve por objetivo identificar um possível padrão de ocorrência das florações algais, associadas às condições ambientais que influenciaram os processos metabólicos do meio aquático, do período de 2013 a 2019 no reservatório Passo Real, com base nas imagens obtidas pelo satélite *Landsat 8*.

3. ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado no Reservatório Passo Real, localizado no alto curso da bacia hidrográfica do Rio Jacuí, no município de Salto do Jacuí interior do estado do Rio Grande do Sul, entre as coordenadas geográficas 28° 39' 07" a 29° 02' 50" de Latitude Sul e 53° 03' 14" a 53° 16' 13" de Longitude Oeste, conforme a Figura 1. A água proveniente do curso dos rios Ingaí, Jacuí-mirim e principalmente do Rio Jacuí é armazenada no reservatório Passo Real, que é o maior corpo d'água artificial do estado do Rio Grande do Sul, abrangendo uma área de aproximadamente 250 quilômetros quadrados. Suas margens estendem-se pelos municípios de Fortaleza dos Valos, Alto Alegre, Campos Borges, Quinze de Novembro, Ibirubá, Selbach e Salto do Jacuí.

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo



O reservatório Passo Real foi construído em 1970 e desde março de 1973, tem em funcionamento a Usina Hidrelétrica Passo Real CEEE-GT, que capta seu potencial hidráulico, possuindo uma capacidade de geração de energia elétrica equivalente a 158 *megawatts*.

Devido à grande dimensão da bacia hidrográfica, a usina é responsável por 65% da energia gerada pela Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE) e 35% da carga consumida pelo Estado (COAJU, 2010).

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 ALGAS EM RESERVATÓRIOS

As algas são organismos microscópicos ou macroscópicos que desempenham um papel significativo nos ecossistemas aquáticos, incluindo reservatórios. Eles são um componente natural dos sistemas aquáticos e desempenham várias funções importantes na cadeia alimentar e na qualidade da água. No entanto, o crescimento excessivo de algas em reservatórios pode levar a problemas ambientais e de saúde.

A geração energética, por meio das usinas que utilizam das vias hídricas, enfrenta dificuldades com a presença de materiais sólidos nos reservatórios, devido aos desequilíbrios constantes na bacia hidrográfica. Alguns fatores podem ser apontados como agravantes e ou causadores dessa situação em determinados períodos. Segundo Esteves (1988), as atividades agrícolas podem ter grandes efeitos na eutrofização artificial dos corpos d'água, associadas principalmente a perdas de nutrientes a partir das terras cultivadas, seja pela lixiviação superior do solo após as primeiras chuvas ou lixiviação e percolação de nutrientes solúveis que atingem o lençol freático.

O crescimento excessivo de algas, em consequência da eutrofização, ocorre quando há um aumento significativo na concentração de nutrientes na água. Chapra (1997) define a eutrofização como o fenômeno do crescimento excessivo de plantas aquáticas devido a super fertilização. Isso pode resultar em um rápido crescimento, prejudicando a qualidade da água e o equilíbrio do ecossistema. A partir do momento que a agricultura ocupa a bacia, os processos de fertilização para maximizar o rendimento das culturas acabam implicando em aportes significativos de fósforo e nitrogênio, nutrientes limitantes para as populações algais (VON SPERLING, 2005).

Esse crescimento pode levar a uma diminuição de oxigênio distribuído na água, o que pode afetar a sobrevivência de espécies aquáticas, causando mortalidade de peixes. Além disso, o excessivo crescimento de algas tóxicas, particularmente cianobactérias, pode propiciar a morte de animais, a contaminação em seres humanos e problemas gastrintestinais e de pele (AZEVEDO, 1998; SANCHES et al., 2012).

4.2 *TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DA ÁGUA - TSA*

A Temperatura da Superfície da Água (TSA) refere-se à temperatura da camada superior da água em corpos hídricos, como oceanos, mares, lagos, rios e reservatórios. Essa temperatura é um parâmetro importante e influencia em vários aspectos dos ecossistemas aquáticos e do clima global. A TSA é um dos principais fatores de estímulo à ocorrência de florações algais, pois atua substancialmente na taxa de crescimento das espécies (KARKI et al., 2018; SCHAEFFER et al., 2018; GRIFFITH; GOBLER, 2020; MULLIN et al., 2020).

Como índice de qualidade da água, a temperatura dos riachos reflete as condições das bacias hidrográficas e dos corredores dos riachos e influencia diretamente a biologia dos organismos aquáticos (BESCHTA, et al., 1987). Seu monitoramento se torna necessário para acompanhar as mudanças ocorridas no ambiente aquático e para se ter um controle sobre o ecossistema aquático, tendo em vista que essas alterações de temperatura podem acarretar impactos para algumas espécies.

Esses estudos direcionados para as águas oceânicas podem refletir em pesquisas sobre as mudanças climáticas. Alguns trabalhos nesse sentido mostram que a temperatura da superfície dos oceanos tem aumentado significativamente nas últimas décadas. Por exemplo, dados do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) indicam que desde o final do século XIX, a temperatura média da superfície dos oceanos tem aumentado para uma taxa média de 0,11 a 0,13°C por década. Esse estudo, publicado em 2019, destaca os impactos desse aumento de temperatura. Entre eles, estão o derretimento das calotas polares, a acidificação dos oceanos, as mudanças na circulação oceânica e os eventos climáticos extremos.

De acordo com Jensen (2009), as informações sobre a temperatura superficial podem ser obtidas por sensoriamento remoto, tendo em vista que o calor interno de um alvo é convertido em energia radiante e para a maioria dos alvos existe uma alta correlação positiva entre a temperatura cinética verdadeira do alvo e o fluxo radiante proveniente dos mesmos.

Segundo Trindade et al. (2017), para se obter temperatura de superfície é necessário primeiramente converter os valores digitais das imagens para temperatura aparente ou de brilho e posteriormente realizar correções atmosféricas e da emissividade na imagem. Como já é possível obter as imagens de temperatura de brilho diretamente do portal *EarthExplorer* da *USGS*, essa conversão não é necessária.

O monitoramento contínuo da temperatura da superfície da água é realizado por meio de satélites, bóias oceânicas, instrumentos de medição a bordo de navios e outras tecnologias. Esses dados são cruciais para prever tendências futuras, entender os seus impactos nos ecossistemas aquáticos e tomar medidas para mitigar seus efeitos.

4.3 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NO ENTORNO DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS

O uso e a ocupação do solo são fatores de extrema importância nos estudos de reservatórios. Atividades no entorno das bacias hidrográficas, como a monocultura e grandes áreas agrícolas podem aumentar a concentração de nutrientes, impactar na qualidade da água, na saúde dos rios, lagos e oceanos e, por conseguinte, na biodiversidade aquática.

Com o aumento da concentração desses nutrientes no reservatório (devido à lixiviação do solo da bacia hidrográfica) e por mais um conjunto de fatores (temperatura e precipitação) ocorrem as condições favoráveis para o crescimento anômalo de algas. O uso e ocupação do solo apresenta-se como um agente nesse contexto, tendo em vista que é um dos principais fatores de alteração da matéria orgânica, produzindo grande aporte de partículas, nutrientes e resíduos sólidos, além do uso de agrotóxicos e outros resíduos poluidores utilizados nas lavouras em ambientes agrícolas.

A remoção de vegetação nativa para a expansão agrícola ou o desenvolvimento urbano pode aumentar esse processo de transporte de sedimentos para os reservatórios. Grande parte da qualidade e quantidade dos recursos hídricos está seriamente comprometida pela retirada da vegetação ciliar pela ação antrópica. De acordo com Martinazzo et al (2004), originalmente o Rio Grande do Sul possuía 40% de cobertura florestal nativa e atualmente apresenta apenas 5,6%. Com isso, o assoreamento dos rios e reservatórios é acentuado, a contaminação das águas é presente, e a compactação dos solos e aceleração dos processos erosivos em áreas agrícolas são intensificadas. As matas ciliares e gramíneas, por exemplo, podem reduzir o

carreamento de sedimentos para dentro do ambiente aquático (Simões, 2003). Estudos realizados na Carolina do Norte, Estados Unidos, por Cooper et al 1987 apud SIMÕES, 2003 mostraram que 84% a 90% dos sedimentos provenientes de áreas agrícolas eram retidos pela mata ciliar.

No contexto do reservatório Passo Real os usos e a ocupação das terras são predominantemente rurais, as culturas anuais caracterizam-se pelo plantio de soja, milho, trigo e fumo (IBGE, 2017). Esses usos são condicionados pela ocorrência de latossolos vermelhos, solos derivados do basalto, bem desenvolvidos (STRECK et al., 2008) e do sistema climático da região.

Vinculado a isso, a precipitação pluviométrica é a principal causa da erosão e do escoamento superficial que transporta material particulado para o reservatório - nos períodos em que o solo se encontra exposto, devido à agricultura - aumentando assim a concentração de sedimentos em suspensão e estes provocam modificações nas quantidades de matéria orgânica, nos valores de reflectância em imagens dos corpos de água e prejudicar a vida aquática.

Um comparativo do uso e ocupação do solo possibilita entender os períodos em que o solo se encontra exposto e mais propício a ter sedimentos escoados para o leito da bacia hidrográfica devido à precipitação pluviométrica no local. Para lidar com essas questões, as autoridades geralmente implementam regulamentações e práticas de gerenciamento de bacias hidrográficas que visam controlar o uso do solo de forma a proteger a qualidade da água nos reservatórios.

4.4 PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA E A INCIDÊNCIA DAS ALGAS

A relação entre a ocorrência pluviométrica e a presença de algas em reservatórios de água é um tema de grande importância na gestão e compreensão dos ecossistemas aquáticos. As chuvas exercem influência direta sobre a dinâmica e a qualidade da água nos reservatórios, impactando o crescimento e a proliferação das algas.

As chuvas podem desempenhar um papel fundamental na introdução de nutrientes, sedimentos e poluentes nos reservatórios. Esses nutrientes, como nitrogênio e fósforo, juntamente com a matéria orgânica, podem ser transportados para os corpos d'água durante eventos pluviométricos intensos, criando condições favoráveis para o florescimento das algas. Estudos científicos mostram que as chuvas intensas são frequentemente associadas a um aumento no escoamento superficial de nutrientes provenientes de áreas urbanas, agrícolas e industriais. Esses nutrientes, quando em excesso, podem desencadear processos de eutrofização, estimulando o crescimento excessivo das algas. De acordo com relatórios e pesquisas realizadas por instituições como a Agência Nacional de Águas (ANA), eventos de chuvas intensas estão associados ao transporte de nutrientes para corpos d'água, contribuindo para o aumento da biomassa de algas em reservatórios.

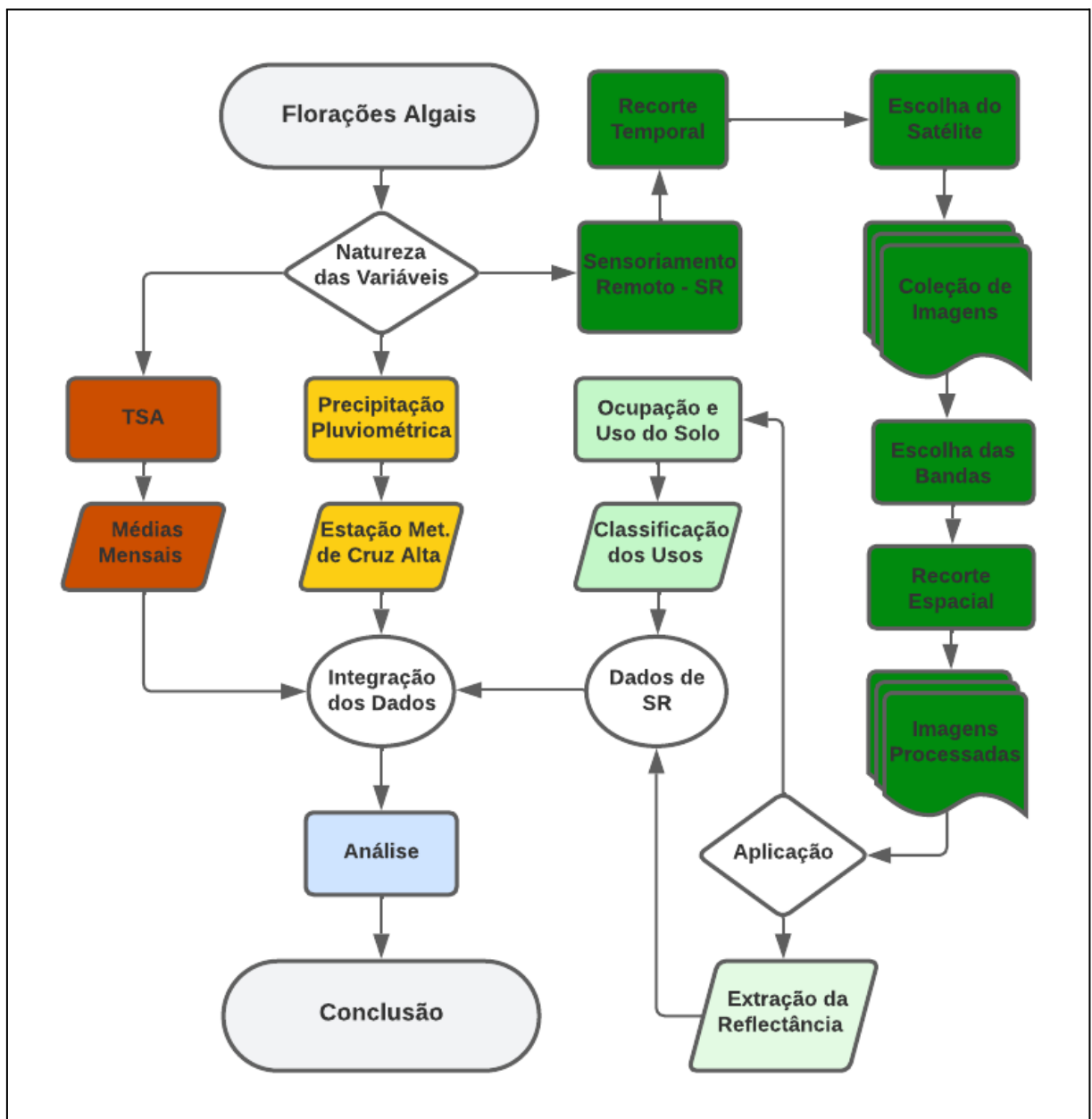
Além disso, relatos e análises de casos específicos mostram como a ocorrência de chuvas influencia a qualidade da água em reservatórios ao redor do mundo. Por exemplo, episódios de chuvas intensas em conjunto com altas temperaturas têm sido associados a surtos de algas em reservatórios devido à lixiviação de nutrientes acumulados no solo em direção a corpos d'água.

A compreensão dessas relações entre a ocorrência pluviométrica e a presença de algas em reservatórios é essencial para a gestão sustentável desses ecossistemas. Estratégias de monitoramento da qualidade da água, controle de poluentes provenientes de escoamento urbano e agrícola e o desenvolvimento de políticas de conservação são fundamentais para mitigar os impactos negativos das chuvas na proliferação excessiva de algas nos reservatórios.

5. METODOLOGIA

No fluxograma a seguir é possível visualizar as etapas e processos estabelecidos para a realização deste trabalho. Inicialmente, definiu-se a natureza das variáveis decidindo utilizar dados de sensoriamento remoto (para aplicar no uso e ocupação do solo e para extrair a reflectância), dados de temperatura da superfície da água e dados de precipitação pluviométrica, respectivamente.

Figura 2 - Fluxograma de processos da pesquisa



Fonte: Autor 2023.

Para iniciar o estudo por meio do sensoriamento remoto, foi delimitado um recorte temporal de 2013 a 2019 tendo por objetivo identificar um padrão das florações entre esses anos no reservatório. A escolha desse período vem ao encontro dos estudos envolvendo a temperatura da superfície da água que foram realizados no mesmo local e para esse recorte de tempo. Perante isso decidiu-se analisar as imagens do satélite *Landsat 8* que possui a bordo o sensor *OLI (Operational Land Imager)*, com resolução temporal de 16 dias e resolução espacial de 30m, assim como possui um conjunto de bandas espectrais que possibilitam identificar as florações de algas no reservatório.

O sensor OLI possui bandas espectrais para coleta de dados na faixa do visível, infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas, além de uma banda pancromática, dados esses que podem ser conferidos na tabela 1.

Tabela 1 - Especificações das bandas espectrais do sensor *OLI (Operational Land Imager)*.

<i>Bandas Espectrais</i>	<i>Resolução Espectral</i>	<i>Resolução Espacial</i>	<i>Resolução Temporal</i>
(B1) Costal	0.433 - 0.453 μm	30	16 Dias
(B2) Azul*	0.450 - 0.515 μm	30	16 Dias
(B3) Verde*	0.525 - 0.600 μm	30	16 Dias
(B4) Vermelho*	0.630 - 0.680 μm	30	16 Dias
(B5) Infravermelho Próximo*	0.845 - 0.885 μm	30	16 Dias
(B6) Infravermelho Médio	1.560 - 1.660 μm	30	16 Dias
(B7) Infravermelho Médio	2.100 - 2.300 μm	30	16 Dias
(B8) Pancromático	0.500 - 0.680 μm	15	16 Dias
(B9) Cirrus	1.360 - 1.390 μm	30	16 Dias

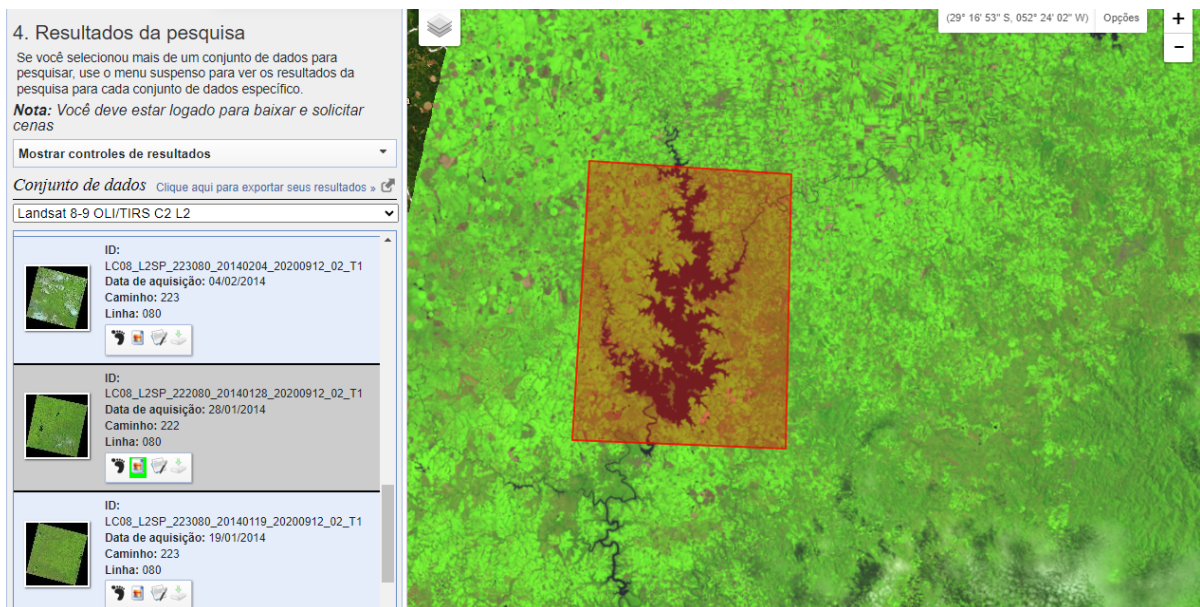
* Bandas utilizadas na pesquisa.

Fonte: USGS, 2019

A coleção de imagens do satélite *Landsat 8*, foram obtidas pelo portal de dados *EarthExplorer* da *USGS (United States Geological Survey)*. Este portal permite aos usuários buscarem, visualizar e baixar dados provenientes de diferentes missões de satélite, como *Landsat*, *Sentinel*, *ASTER*, *MODIS* e outros. As imagens disponíveis abrangem diversas resoluções espaciais e temporais, permitindo o estudo de mudanças ambientais, monitoramento de recursos naturais, planejamento urbano, análises agrícolas, detecção de mudanças na superfície terrestre, entre outros.

No caso do presente estudo foi selecionada a área de estudo e definido o recorte temporal de 2013 a 2019, onde buscou-se imagens do reservatório para cada mês do ano, sem interferência de nuvens. Na Figura 2 é possível ver um exemplo da interface de escolha da imagem no portal.

Figura 3 - Interface do portal EarthExplorer da USGS.



Fonte: [EarthExplorer](#) (2023)

Após selecionadas as imagens, na plataforma *EarthExplorer* da *USGS*, foi necessário integrar todas as bandas em uma única imagem, sendo possível organizar as bandas com todas as informações espectrais necessárias em um único arquivo. Por fim, o manuseio das imagens passou por um recorte, as quais foram delimitadas tendo-se como referência os limites da área de interesse.

Para fins de validação da ocorrência das florações algais, foi utilizada a ferramenta de extração da reflectância espectral das bandas no *software ENVI*, que consiste em um gráfico disponível que aponta os níveis de reflectância de cada banda. Essa validação possibilita constatar em quais imagens as florações estão presentes e - devido à análise da série temporal das imagens - em qual período do ano ocorreram.

Com o uso da extração da reflectância das imagens foi possível identificar as algas, onde a resposta espectral do infravermelho é maior que a resposta espectral das bandas do visível (vermelho, verde e azul). Colaborando com essa análise, foi possível constatar que o comportamento espectral da água sem presença de algas tem valores menores de reflectância das bandas do visível se comparado a resposta espectral do reservatório nos locais com presença de algas.

A classificação dos mapas de uso e ocupação do solo foram realizadas no *ENVI*, um *software* de processamento de imagens e análise geoespacial que pode ser usado para criar mapas de uso e ocupação do solo a partir de imagens de sensoriamento remoto, por meio da ferramenta *ROI (Region of Interest)*.

Para isso, foram utilizadas as imagens baixadas, sendo utilizadas três classes de uso: Água, vegetação e solo exposto. Após a classificação da imagem, para a elaboração do mapa final foi utilizado o *software QGIS*.

A precipitação pluviométrica média foi analisada para cada mês durante o período de 2013 a 2019. Os dados analisados foram da estação meteorológica da cidade de Cruz Alta, próxima ao reservatório, obtidos pelo site do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET.

Os dados sobre a temperatura da superfície da água do reservatório foram retirados da revisão bibliográfica de pesquisas científicas já realizadas no local de estudo, para o mesmo recorte temporal e que foi possível adquirir todos os dados necessários para a análise e cruzamento de informações.

Por fim, foram integrados todos esses dados, permitindo uma análise e conclusão para este trabalho.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com as imagens já processadas nas bandas de interesse, e analisando a reflectância espectral de cada banda, pode-se perceber a presença das algas no reservatório. Com isso, buscou-se métodos para a sistematização do estudo. A seleção de imagens resultou em 84 meses analisados e 61 imagens ao total, conforme pode-se analisar na Tabela 2.

Tabela 2 - Relação da quantidade de imagens utilizadas, com suas respectivas datas.

Ano/Mês	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Total
Janeiro		28/01	22/01	18/01			26/01	4
Fevereiro						06/02	09/02	2
Março		24/03	20/03	13/03	25/03	12/03	15/03	6
Abril	15/04		12/04	05/04	01/04	11/04		5
Mai	17/05	11/05	05/05				18/05	4
Junho	18/06		06/06		29/06	16/06		4
Julho	27/07	07/07		28/07	22/07	18/07		5
Agosto	05/08	24 e 08		11/08	23/08		06/08	6
Setembro	06/09	25 e 09	12/09	21/09	01/09		23/09	7
Outubro	08/10	27/10	05/10	07/10	03/10	06/10	09/10	7
Novembro	25/11	28/11	15/11	24/11	20/11		17/11	6
Dezembro		14/12	08/12		13/12	25/12	28/12	5
Total	8	11	9	8	9	7	9	61

Fonte: Autor 2023.

Para fins de validação da ocorrência das florações algais, foi utilizada a ferramenta de extração da reflectância espectral das bandas no *software ENVI*. Com isso foi possível verificar a resposta espectral da imagem. Verificou-se, quando solicitado esse nível para dentro do reservatório, em um período em que possui floração, os níveis de reflectância das bandas do verde (3), vermelho (4) e infravermelho (5) se elevam, apontando presença de matéria sólida em suspensão no reservatório, e que no caso, são as algas.

Figura 4 - Gráficos comparativos do padrão espectral da ocorrência de algas e resposta espectral sem ocorrência.

Figura 4.1 - Gráfico de Outubro de 2017, sem presença de algas no reservatório.

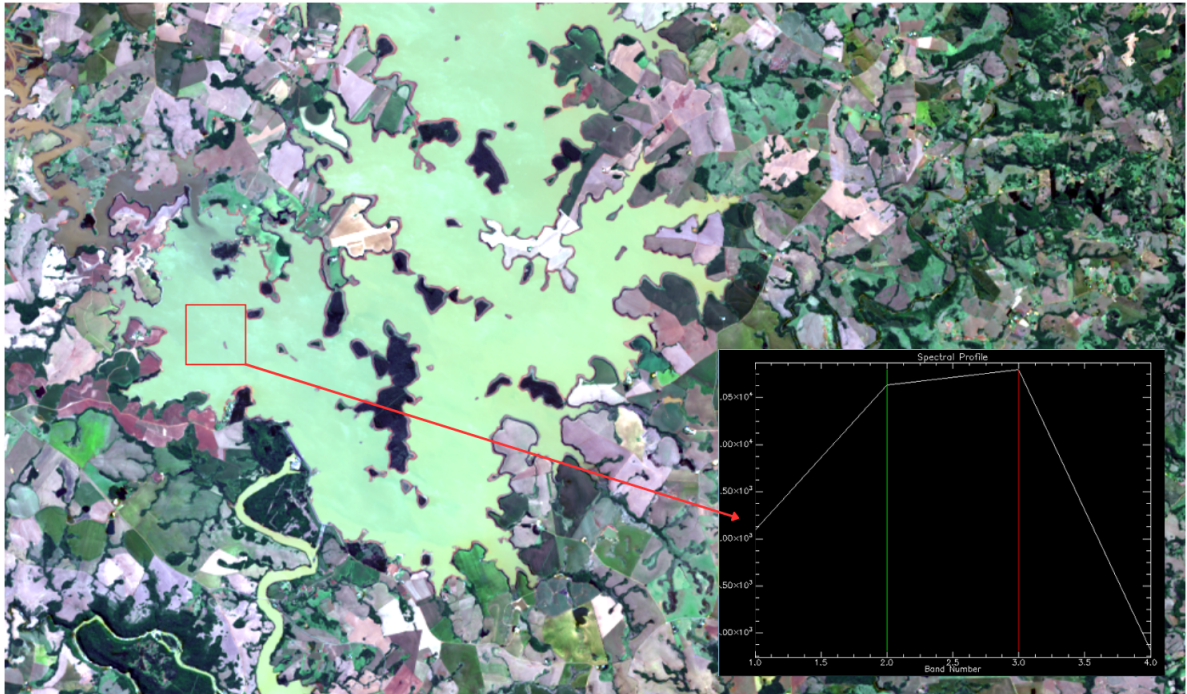
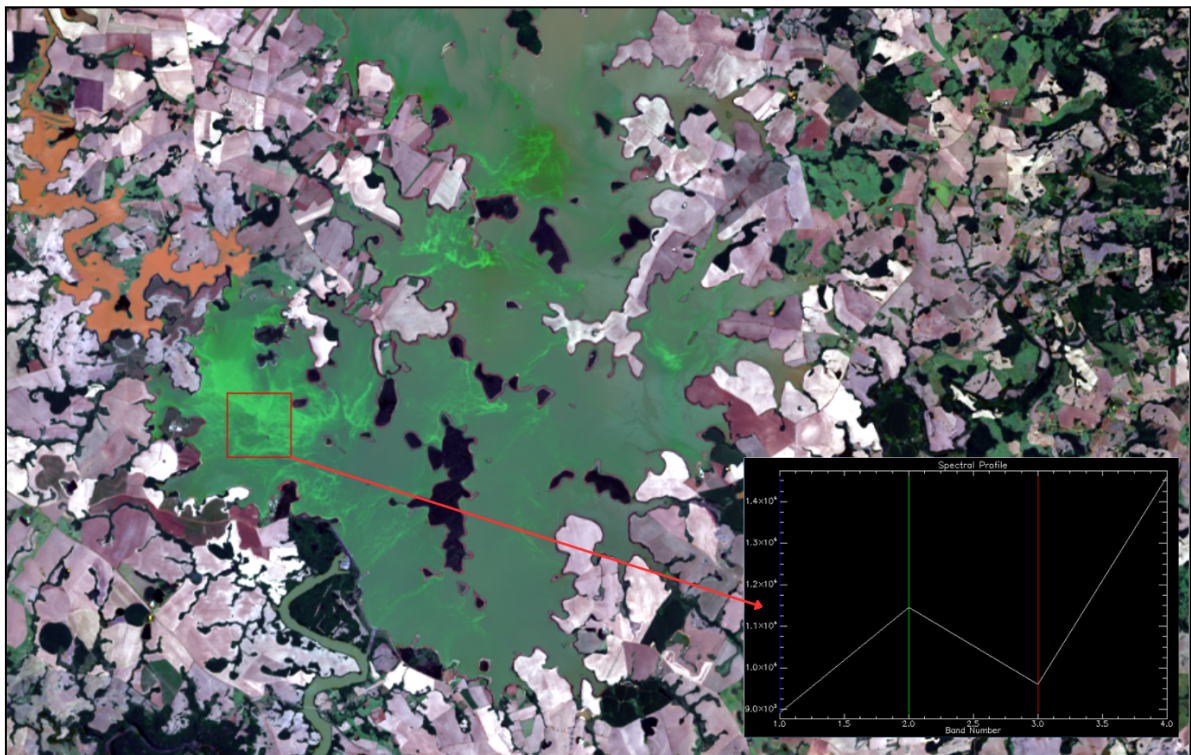


Figura 4.2 - Gráfico de Novembro de 2017, com presença de algas no reservatório.



*Coordenadas do ponto de referência: 284655.0000 E - 3208785.0000 N

Ressalta-se que no comparativo dos gráficos eles não apresentam o mesmo intervalo de valores, tendo o gráfico sem presença de algas (4.1) um valor de reflectância das bandas muito menor que o gráfico com presença de algas (4.2). Quando analisado um em comparação ao outro, percebe-se que a curva espectral do gráfico 4.1 parece maior que a do 4.2, porém os valores de reflectância das bandas verde, vermelho e infravermelho são maiores no gráfico 4.2 e logo sua curva espectral também é maior. A diferença entre o intervalo de valores se deve ao fato de que se tivesse mantido o mesmo intervalo para ambos os gráficos, o gráfico 4.1 não teria variação, dificultando a sua visualização.

Nota-se que na imagem de 2017, a presença de algas é tão densas que é possível sua visualização a olho nu. Com as interpretações sobre as imagens, feitas por meio da análise da resposta espectral emitida pelas algas, foi possível verificar em quais períodos houve essa presença e assim criou-se a seguinte tabela 3, que retrata os meses do ano desde 2013 a 2019.

Tabela 3 - Relação da ocorrência das algas nas imagens analisadas.

Ano/Mês	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Janeiro		28/01	22/01	18/01			26/01
Fevereiro						06/02	09/02
Março		24/03	20/03	13/03	25/03	12/03	15/03
Abril	15/04		12/04	05/04	01/04	11/04	
Mai	17/05	11/05	05/05				18/05
Junho	18/06		06/06		29/06	16/06	
Julho	27/07	07/07		28/07	22/07	18/07	
Agosto	05/08	24 e 08		11/08	23/08		06/08
Setembro	06/09	25 e 09	12/09	21/09	01/09		23/09
Outubro	08/10	27/10	05/10	07/10	03/10	06/10	09/10
Novembro	25/11	28/11	15/11	24/11	20/11		17/11
Dezembro		14/12	08/12		13/12	25/12	28/12

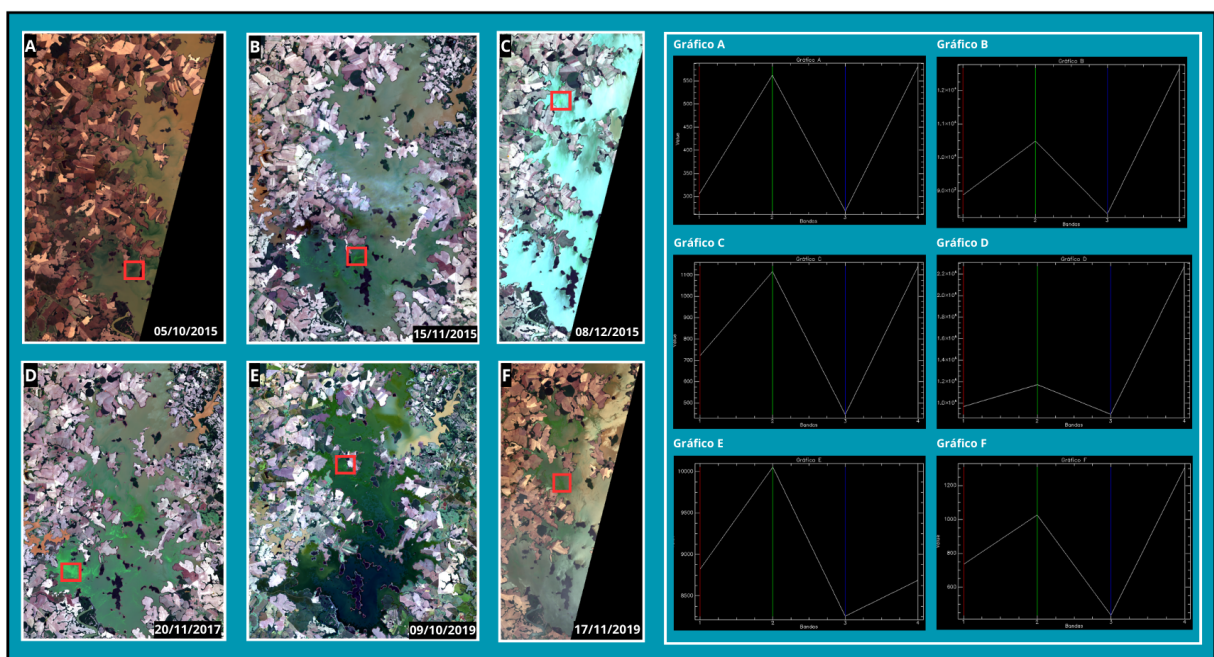
*em amarelo as datas com presença de algas no reservatório.

Fonte: Autor 2023.

Pode-se perceber dessa maneira, que a ocorrência das florações das algas (em destaque em amarelo na tabela) ocorreu nos períodos de primavera, nos anos de 2015, 2017 e 2019.

Na figura a seguir, é possível observar um mosaico de imagens dos diferentes anos em que foi possível constatar as florações de algas. Nota-se que se estabelece quantidades concentradas na parte Sul do reservatório e com tendência para a direção Oeste, mas que os locais de florações variam de acordo com as datas, sem ter um ponto fixo.

Figura 5 - Mosaico das imagens e gráficos do reservatório com ocorrência de algas.



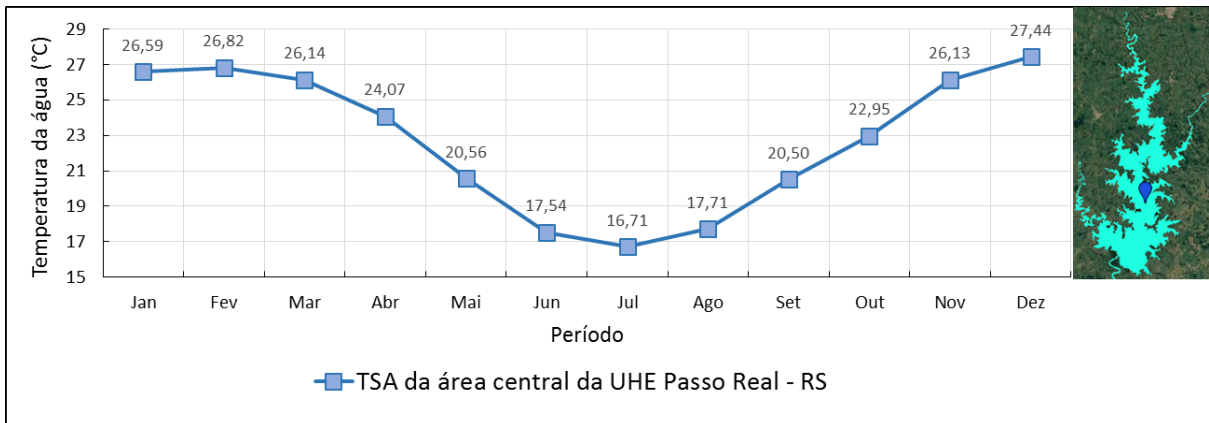
*em vermelho, área utilizada para gerar os gráficos

Fonte: Autor 2023.

Analisando os períodos em que ocorreram a presença das algas, buscou-se entender algumas variáveis que interferem diretamente nessas florações e com isso estabelecer quais os principais fatores de influência. Para isso foram analisadas a temperatura média mensal da água entre 2013 a 2019, a precipitação pluviométrica média mensal deste mesmo recorte temporal, e os mapas de uso e ocupação do solo para o período de primavera e verão

No reservatório as propriedades térmicas da água foram analisadas a partir da pesquisa de KRAMER, G.; FILHO, W. P. 2022, onde foram utilizados dados do *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)* entre o período de 2013 a 2019, resultando em uma média mensal, que teve como referência uma área central dentro do reservatório, conforme a figura 5.

Figura 6 - Gráfico da Temperatura Superficial da Água da área central do reservatório Passo Real.



Fonte: Adaptado de KRAMER, G.; FILHO, W. P. 2022

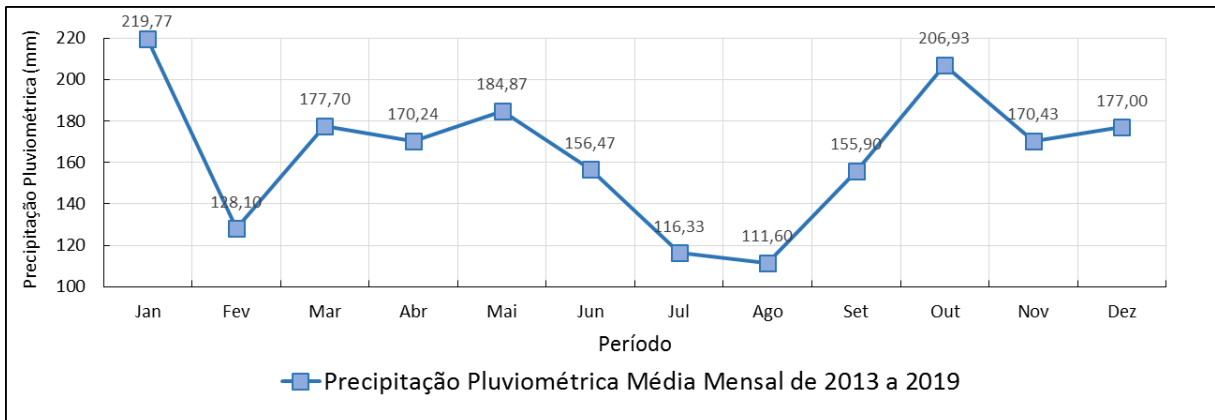
Percebe-se que a temperatura da superfície do reservatório apresenta uma fase de transição térmica entre o final do inverno e o início da primavera, período em que foram identificadas as florações de algas (outubro, novembro e dezembro).

A partir dessa afirmação e sabendo que a água exige maior quantidade de energia para aumentar a sua temperatura, logo, maior capacidade térmica que a vegetação e o solo (JENSEN, 2009), pode-se inferir que a identificação de aumento de temperaturas que destoam da média geral sugere a ocorrência de eventos anômalos de florações algais.

Com isso, é possível estabelecer a temperatura da superfície da água como um fator adicional de influência, que, em conjunto com outros fatores, indica uma possível relação com a incidência das algas no reservatório.

A análise da precipitação pluviométrica média mensal de 2013 a 2019 permite verificar que a precipitação pluviométrica apresentou um padrão crescente na quantidade de milímetros (mm) na fase final do inverno, início da primavera e durante o verão. Na Figura 6 é possível observar este padrão de chuva.

Figura 7 - Precipitação Pluviométrica Média Mensal de 2013 a 2019.



Fonte: INMET - Estação de Cruz Alta (2022)

No reservatório essa característica de zona temperada e clima subtropical, definidas na classificação de Köppen-Geiger para a região sul do Brasil, as estações do ano são bem definidas e a precipitação segue um padrão de ocorrência, tendo no período em que se constatou a presença das algas no reservatório uma crescente no volume de chuvas na região.

Importante ressaltar, que especialmente no ano de 2019, os meses de setembro, outubro, e novembro não registraram chuva e o mês de dezembro registrou uma baixa precipitação pluviométrica, sendo esse período marcado por uma estiagem na região que fez com que as médias nesses meses ficassem um pouco abaixo do esperado em comparação ao normal meteorológico nesse local e nesse período do ano.

Considerando os estudos sobre precipitações pluviométricas no reservatório Passo Real, podemos interligar a incidência dessas algas com o estudo elaborado por PEIXOTO et al., 2017, que classifica no reservatório um período chuvoso e outro seco, relacionando essas condições com a quantidade de material sólido em suspensão no reservatório, bem como um aumento de matéria orgânica, que influencia no crescimento das algas.

Com essa pesquisa, os autores destacaram que as alterações nos valores de reflectância da água do reservatório da Usina Hidrelétrica de Passo Real tem relação entre os índices pluviométricos da bacia de captação e que isso influencia no transporte de sedimentos até o reservatório, com base nisso foi elaborada uma tabela indicando a quantidade de sólidos em suspensão no reservatório, com relação a cada período.

Tabela 4 - Total de Sólidos em Suspensão em mg/L por períodos.

Período seco	0,5 a 31 mg/L
Período chuvoso	1 a 33 mg/L

Fonte: PEIXOTO, 2017.

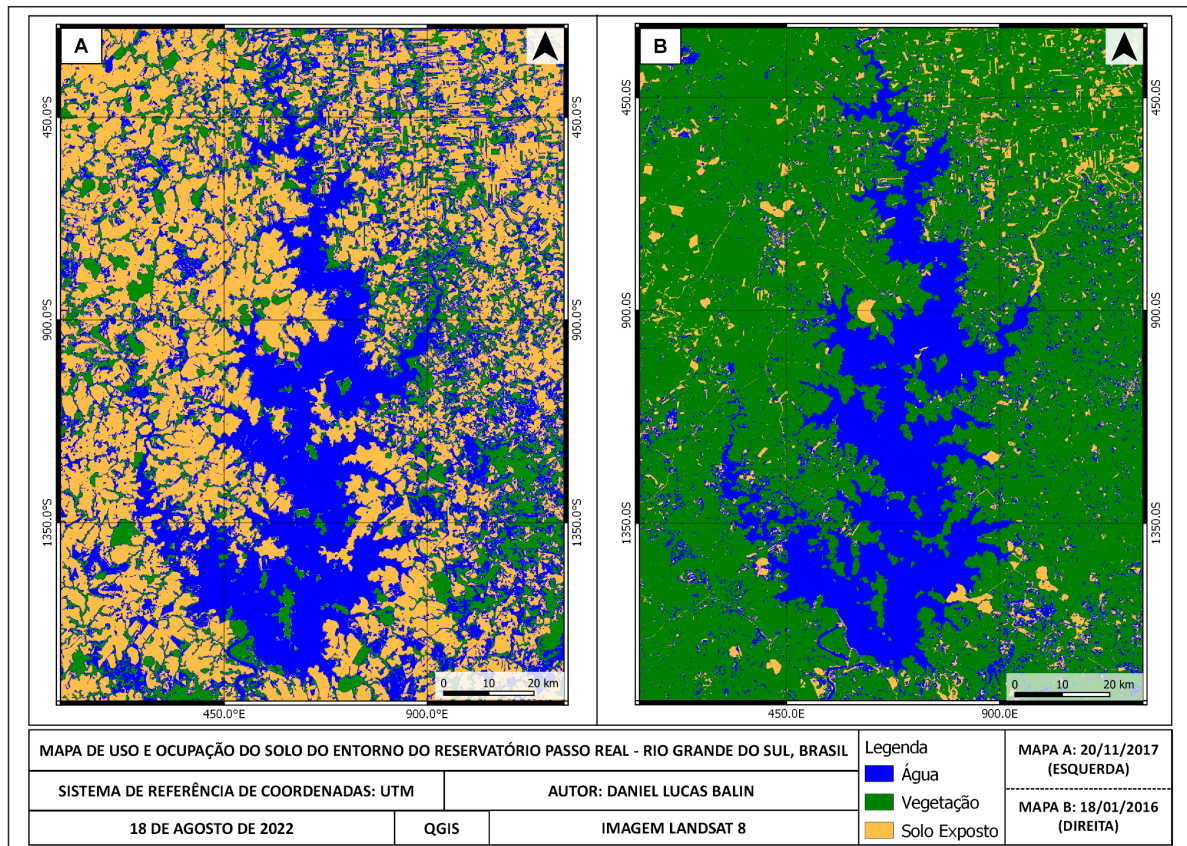
A hipótese mais provável para explicar essa alteração é uma mudança no uso da terra, e particularmente um aumento na quantidade de solos nus, associados a um período chuvoso. Resultando em um aumento do transporte de partículas pelo escoamento (ROBERT et al. 2016).

Tendo em vista que para as duas variáveis anteriores (temperatura e precipitação) a primavera e o verão apresentaram dados que seguiram uma tendência parecida, foi necessário entender o que diferencia essas duas estações do ano na dinâmica do reservatório.

Quando analisado o período de floração das algas, nota-se uma incidência na primavera e isso não acontece no verão. Por conta disso, neste estudo, foi essencial integrar a análise do uso e ocupação do solo durante esses períodos, permitindo compreender que a combinação da temperatura, precipitação e solo exposto nas proximidades do reservatório resulta nas florações de algas.

Essa variável, em particular, diferencia a dinâmica do reservatório entre a primavera e o verão. Com base nessa informação, criou-se os mapas de uso e ocupação do solo para o período de verão de 2016 (tendo o solo com cobertura vegetal) e de primavera de 2017 (período de solo exposto e maior proliferação de algas registrados neste estudo), a fim de verificar qual a situação do entorno do reservatório.

Figura 8 - Mapa comparativo do uso e ocupação do solo no período de Novembro de 2017 (A) e de Janeiro de 2016 (B).



Desta forma, constata-se que durante a primavera a maior parte das áreas agrícolas do entorno do reservatório se encontra com o solo exposto. Com isso, pode-se compreender o fator que diferencia o período do verão e da primavera no reservatório, se a temperatura e precipitação mantêm um padrão médio parecido nas duas estações, o uso e ocupação do solo tem uma dinâmica inversa entre esses períodos, tendo a primavera com solo exposto para preparo e plantio e o verão com as vegetações (culturas agrícolas) já em fase de crescimento vegetativo.

O solo exposto devido ao preparo para o plantio agrícola é uma prática comum na agricultura, especialmente antes do cultivo, principalmente na safra de verão. Isso geralmente envolve a remoção do terreno existente, a aragem do solo e a preparação do terreno para o plantio das culturas desejadas.

No entanto, quando o solo fica exposto por longos períodos devido ao preparo para o plantio, ele fica vulnerável a vários problemas:

- a) Erosão do solo: A exposição prolongada do solo pode aumentar a vulnerabilidade à erosão causada pela água e pelo vento. A chuva forte pode carregar as camadas superficiais do solo, diminuindo sua fertilidade e levando à perda de nutrientes essenciais para as plantas.
- b) Compactação do solo: O tráfego de maquinário agrícola durante o preparo do solo pode compactar as camadas, enfraquecendo a porosidade e dificultando a infiltração de água e ar. Isso pode prejudicar o crescimento das raízes e a absorção de nutrientes pelas plantas.
- c) Perda de matéria orgânica: A exposição prolongada do solo ao sol e ao vento pode acelerar a suspensão da matéria orgânica presente no solo, diminuindo sua fertilidade e capacidade de retenção de água.

Para mitigar esses problemas associados à exposição do solo, os agricultores podem adotar diversas práticas de conservação do solo, tais como:

I) Plantio direto: Uma técnica em que a cultura é plantada sem arar o solo, mantendo uma cobertura vegetal anterior como palha para proteger o solo e reduzir a erosão.

II) Rotação de culturas: Alternância de diferentes culturas em uma mesma área ao longo do tempo, o que ajuda a melhorar a estrutura do solo e reduzir a erosão.

III) Cobertura do solo: Uso de cobertura vegetal, como culturas de cobertura ou *mulching*¹, para proteger o solo e manter sua umidade.

IV) Práticas de conservação de água e controle de erosão: Utilização de curvas de nível, terraços, barragens e outras práticas para reduzir a erosão e conservar a água no solo.

Seguindo esses indicadores, o estudo da relação entre os ecossistemas terrestres e aquáticos são essenciais, tendo em vista a sua relação do uso do solo ao longo dos ciclos agrícolas no entorno das bacias hidrográficas e a alteração das características limnológicas, criando distintos compartimentos aquáticos nos reservatórios e possibilitando o aparecimento de algas.

¹ pode ser definido como o processo de cobrir a superfície do solo ao redor das plantas para criar condições favoráveis para o crescimento da cultura.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O reservatório apresenta em determinados períodos níveis de florações de algas tão densas que são possíveis de analisar a olho nu, tendo essa população concentrada em parte do reservatório, porém nos demais períodos do ano essa presença não se encontra.

Com esse estudo foi possível constatar que as florações de algas no reservatório Passo Real estabeleceram um padrão de crescimento anômalo nos anos de 2015, 2017 e 2019, tomando como base dessas ocorrências os períodos chuvosos, associados à altas temperaturas da superfície da água e quando os solos do entorno do reservatório estavam sendo preparados para o plantio agrícola e se encontravam expostos (primavera).

Destaca-se que é necessário que esse conjunto de fatores precisam estar presentes para que haja a presença das algas, visto que na primavera de alguns anos, dentro do recorte temporal estabelecido, não ocorre a floração das algas no reservatório. Isso é explicado no fato de que é necessário que ocorra os três fatores determinantes: Alta precipitação, alta temperatura da superfície da água e solo exposto.

Outra possibilidade de explicação para o não aparecimento de algas no reservatório na primavera de alguns anos, é que é necessário para o crescimento das algas um intervalo de período de chuvas seguido de alguns dias de altas temperaturas para que se possibilite o crescimento, caso que pode ser limitante para o crescimento anômalo e que possibilita estudos futuros específicos nesse sentido.

Destaca-se que a primavera e verão apresentam condições parecidas de precipitação e temperatura da superfície da água no reservatório, porém o uso e ocupação do solo é diferente em cada estação do ano. Onde na primavera o solo se encontra exposto devido a agricultura e mais propício de ter sedimentos e nutrientes escoados para o leito das bacias hidrográficas que deságuam no Reservatório Passo Real, e no verão tem mais cobertura no solo devido ao crescimento vegetativo das culturas de verão nas áreas agrícolas.

Por fim, comprovou-se a eficácia do uso do sensoriamento remoto na realização da análise da presente pesquisa. Essa abordagem possibilita não apenas a replicação da metodologia em outras bacias hidrográficas, mas também oferece uma oportunidade de

aprimorar o monitoramento e a compreensão dos fenômenos relacionados às condições ambientais em larga escala. Além disso, o sensoriamento remoto proporciona uma visão abrangente e contínua das áreas de interesse, permitindo a detecção de padrões e mudanças ao longo do tempo, auxiliando na tomada de decisões e no planejamento adequado de recursos hídricos e gestão ambiental.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO, S. M. F. O. **Toxinas de cianobactérias: causas e consequências para a saúde pública**. Medicina On line, v. 1, n. 3, p. 1-19, 1998.

BESCHTA, Robert L. et al. **Stream temperature and aquatic habitat: fisheries and forestry interactions**. Streamside management: Forestry and fishery interactions, v. 57, p. 191-232, 1987.

CAMARA, Moriken; JAMIL, Nor Rohaizah; ABDULLAH, Ahmad Fikri Bin. **Impact of land uses on water quality in Malaysia: a review**. Ecological Processes, v. 8, n. 1, p. 1-10, 2019.

CICERELLI, Rejane E.; Galo, Maria de L. B. T.. **Sensoriamento remoto multifonte aplicado na detecção do fitoplâncton em águas interiores**. Revista Brasileira De Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande Pb: Univ Federal Campina Grande, v. 19, n. 3, p. 259-265, 2015. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/129302>>.

CHAPRA, S. C. **Surface Water-Quality Modeling**. Mc Graw-Hill, 1997.

COAJU - Comitê De Gerenciamento Da Bacia Hidrográfica Do Alto Jacuí. **História do Sistema Jacuí**. 2010.

DIÁRIO DO GRANDE ABC. **Algas do Tietê prejudicam geração de energia em Jupiá**. 1999. Disponível em: <https://www.dgabc.com.br/Noticia/183668>. Acesso em 01 dez. 2023.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

GRIFFITH, A., & GOBBLER, C. **Harmful Algal Blooms: A Climate Change co-stressor in Marine and Freshwater Ecosystems**. Harmful Algae, 91. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1568988319300344>. 2020.

HENRY, R. **Estrutura especial e temporal do ambiente físico e químico a análise de alguns processos ecológicos na represa de Jurumirim (Rio Paranapanema, SP) e na sua bacia hidrográfica.** 1990. 242 f. Tese (Livre-Docência) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 1990.

INMET - Instituto de Meteorologia. **Estação Meteorológica de Cruz Alta.** 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo agropecuário 2017.** Rio de Janeiro: IBGE, 2017. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso: 07 jun. 2023.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Relatório Especial sobre o Oceano e a Criosfera em um Clima em Mudança.** (2019) Acesso em 22 nov. 2023.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres.** 2º Edição traduzida pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. São Paulo, Parêntese, 2009. 672 p.

KARKI, S. et al. **Mapping and Forecasting Onsets of Harmful Algal Blooms Using MODIS Data over Coastal Waters Surrounding Charlotte County, Florida.** Remote Sensing, v. 10, n. 10, 2018.

KRAMER, G.; FILHO, W. P. **Análise Da Variação Da Temperatura De Superfície Do Reservatório Passo Real-Rs A Partir De Dados Modis.** A importância da Geografia Física na (re)construção e (re)interpretação da paisagem Luso-Afro-Americana. Jataí - GO: III Encontro Luso-Afro-Americano de Geografia Física e Ambiente (ELAAGFA), 2022. p. 175–185.

MARGALEF, M.W. **Tipologia de reservatório.** Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie, vol. 19, pág. 1841-1848. 1975.

MARTINAZZO, E. G. et al. **Estudo da flora da mata ciliar no município de Frederico Westphalen – RS.** In: V CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 2004, Curitiba. Anais eletrônicos. Curitiba, 2004.

MULLIN, C. A. et al. **Future Projections of Water Temperature and Thermal Stratification in Connecticut Reservoirs and Possible Implications for Cyanobacteria.** *Water Resources Research*, v. 56, n. 11, p. e2020WR027185, 1 nov. 2020.

NASA (National Aeronautics and Space Administration). **Landsat 8.** Disponível em: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-8/>. Acesso em: 22. nov. 2023.

PEIXOTO, Daniela Wancura Barbieri; GUASSELLI, Laurindo Antonio; PEREIRA FILHO, Waterloo. **Influência da precipitação pluviométrica nos valores de reflectância da água, no reservatório Passo Real-RS.** *Revista brasileira de cartografia*, Rio de Janeiro. Vol. 69, n. 3 (2017), p. 495-503, 2017.

ROBERT E.; GRIPPA, M.; KERGOAT, L.; PINET, S.; GAL, L.; COCHONNEAU, G.; MARTINEZ J. M. **Monitoring water turbidity and surface suspended sediment concentration of the Bagre Reservoir (Burkina Faso) using MODIS and field reflectance data.** *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. V.52, 2016, 243-251pp.

SANCHES, S. M.; PRADO, E. L.; FERREIRA, I. M.; BRAGA, H. F.; VIEIRA, E. M. **Presença da toxina microcistina em água, impactos na saúde pública e medidas de controle.** *Revista de Ciências Farmacêuticas Básica e Aplicada*, v. 33, n. 2, p. 181-187, 2012.

SCHAEFFER, B. A. et al. **An initial validation of Landsat 5 and 7 derived surface water temperature for U.S. lakes, reservoirs, and estuaries.** *International Journal of Remote Sensing*, v. 39, n. 22, p. 7789–7805, 2018

SIMÕES, L. B. **A importância das matas ripárias no controle da poluição difusa.** In: HENRY. R. (Org.). *Ecótonos nas Interfaces dos Ecossistemas Aquáticos*. São Carlos: RiMa, 2003, 349 p.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul.** 2. ed. Porto Alegre: EMATER, 2008.

TRINDADE, P. M. T.; Saldanha, D. L.; Pereira Filho, W. **Utilização do infravermelho termal na análise espaço temporal da temperatura de superfície e ilhas de calor urbanas.** Revista Brasileira de Cartografia, v.69, n. 4, p. 837-855, 2017.

VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos.** Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG. 3ª edição, volume 1. Belo Horizonte, 2005.

ZIHANG MA, Zuhan Ge, Kexuan Liu, Cong Wang, Tao Wu, Jibiao Zhang. **Application of calcium peroxide for efficient treatment of surface water turbidity: Mechanisms and microbial community responses.** Journal of Environmental Chemical Engineering, Vol. 11, 2023. ISSN 2213-3437, <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.110905>.