

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS
GERAIS - *CAMPUS* OURO PRETO
LICENCIATURA EM GEOGRAFIA

Nayara Jamine Silva

**MAPEAMENTO DAS LAGOAS MARGINAIS DURANTE A OCORRÊNCIA DE
PULSOS DE INUNDAÇÃO NO ALTO CURSO DO RIO SÃO FRANCISCO - MG**

Ouro Preto

2023

NAYARA JAMINE SILVA

**MAPEAMENTO DAS LAGOAS MARGINAIS DURANTE A OCORRÊNCIA DE
PULSOS DE INUNDAÇÃO NO ALTO CURSO DO RIO SÃO FRANCISCO - MG**

Monografia apresentada ao Curso Licenciatura
em Geografia do Instituto Federal de Minas
Gerais- *campus* Ouro Preto para obtenção do
grau de licenciatura em Geografia.

Orientador: Dr. Diego Alves de Oliveira

Ouro Preto

2023

J32m

Jamine, Nayara.

Mapeamento das lagoas marginais durante a ocorrência de pulsos de inundações no alto curso do Rio São Francisco - MG [manuscrito] / Nayara Jamine – 2023.

65 fl. il.

Orientador: Diego Alves de Oliveira.

Trabalho de Conclusão de Curso (licenciatura) – Instituto Federal de Minas Gerais. *Campus* Ouro Preto, 2023.

1. Áreas úmidas. 2. Hidrogeologia. 3. Sensoriamento remoto. I. Oliveira, Diego Alves de. II. Instituto Federal de Minas Gerais. *Campus* Ouro Preto. IV. Título.

CDU 502.51

Catálogo: Gláucia Maria Ferreira de Carvalho - CRB-6/2231



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS
Campus Ouro Preto
Diretoria de Ensino
Docência de Área de Geografia
Rua Pandiá Calogeras, 898 - Bairro Bauxita - CEP 35400-000 - Ouro Preto - MG
- www.ifmg.edu.br

FOLHA DE APROVAÇÃO

Nayara Jamine Silva

MAPEAMENTO DAS LAGOAS MARGINAIS DURANTE A OCORRÊNCIA DE PULSOS DE INUNDAÇÃO NO ALTO CURSO DO RIO SÃO FRANCISCO - MG

Monografia apresentada ao Curso de Licenciatura em Geografia do Instituto Federal Minas Gerais – *Campus* Ouro Preto, como requisito parcial para obtenção do título de Licenciada em Geografia.

Aprovada em: 12 de setembro de 2023 pela banca examinadora:

Prof. Dr. Diego Alves de Oliveira (Orientador)

Prof. Dr. Jairo Rodrigues Silva (IFMG)

Prof. Dra. Elizene Veloso Ribeiro (IFMG)

Ouro Preto, 03 de dezembro de 2023.



Documento assinado eletronicamente por **Diego Alves de Oliveira, Professor**, em 04/12/2023, às 00:04, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Elizene Veloso Ribeiro, Professora**, em 04/12/2023, às 12:40, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Jairo Rodrigues Silva, Professor**, em 05/12/2023, às 14:32, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.ifmg.edu.br/consultadocs> informando o código verificador **1758386** e o código CRC **BD83D333**.

Dedico a mim, por minha força vontade e uma imensurável esperança em um futuro brilhante.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus, meu pai eterno e todo poderoso que me permitiu vencer essa etapa da minha vida e que me deu forças para continuar.

Agradeço à minha mãe, Cláudia, que foi meu suporte emocional e espiritual quando pensava em desistir, me dando amor, orando por mim e me acompanhando sempre. Ao meu pai, Mauro, que nunca me negou ajuda e que está sempre comigo, mesmo que seja por mensagens e telefonemas. À minha irmã, Jade, que sempre comemora minhas vitórias e com seu jeito leve, sempre teve uma palavra amiga. A todos os meus tios, tias, primos e avós que sempre comemoraram minhas vitórias.

Ao meu namorado, Ítallo, que chegou no final da jornada, mas também no momento mais incerto e me amou com uma generosidade nunca imaginada. Minha gratidão por não abrir somente seu coração, mas toda sua vida para mim.

A todos os meus amigos, em especial, Andréia, Kaique, Marcos, Natan, Stephany, Luianny, Nanati e Fabrício. Minha gratidão por sempre me ouvir, me inspirarem e me acompanharem ao longo da vida. Aos meus colegas do IFMG. Gratidão por todas risadas e cafés na lanchonete. Vocês foram ótimas companhias e fizeram a jornada mais leve.

Minha gratidão a todo corpo docente da CODAGEO. Cabe aqui fazer um agradecimento especial aos professores Ramon Duarte, Cecília e Jairo. Vocês são seres humanos incríveis e é impossível mensurar a minha gratidão e o quanto aprendi com vocês.

Ao meu orientador, Diego Oliveira, por toda paciência, incentivo e palavras de ânimo. Agradeço por não desistir de mim como orientanda.

No mais, agradeço ao universo por conspirar sempre ao meu favor.

“Eu vi, eu vim
Venci a curva.”

Pouca Vogal.

RESUMO

Áreas úmidas são sistemas complexos, ainda não totalmente compreendidos pela ciência. Desempenham funções importantes para o ecossistema, como regularização do nível de água entre períodos de seca e úmidos, suporte ao ecossistema local, purificação da água e estoque de carbono. Essas áreas estão diminuindo antes de serem devidamente identificadas e registradas, indicando a necessidade de pesquisas que busquem compreender, identificar e enfatizar sua importância. O objetivo desta pesquisa é utilizar imagens de satélite para identificar, mapear a localização e extensão de áreas úmidas na forma de lagoas marginais que ocorrem longitudinalmente na planície de inundação. A área de estudo está inserida no alto curso do rio São Francisco, desde sua nascente, coordenadas 20°18'27,23"S, 46°32'10,42"O, na região da Serra da Canastra, até o início do lago de Três Marias, 18°57'46,66"S, 45° 7'17,50"O. No contexto dos pulsos de inundação foram identificados por meio de dados fluviométricos da estação Ponte do Chumbo, monitorada pela Agência Nacional das Águas, aplicados recursos e técnicas de sensoriamento remoto, com as imagens do satélite Landsat 5, sensor TM, adquiridas no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) com o objetivo de identificar e mapear a localização e extensão das áreas úmidas dos anos de 1997 e 2008. Essas imagens foram processadas no programa QGIS, versão 3.16. Como resultado, foram obtidas imagens falsa cor para as duas datas para as quais foram elaboradas a chave de fotointerpretação. O principal alvo de análise foi a resposta espectral da água, partindo do pressuposto de que as lagoas marginais são suscetíveis à diferentes dinâmicas hidrológicas. Os mapas foram produzidos com imagens registradas em 08/01/1997, cuja cota do rio era de 1.232 cm, onde foram identificadas 80 feições consideradas áreas úmidas, com extensão total de 584,88 km². O mapa para a data de 12/04/2008, em que a cota do rio era de 782 cm, foram identificadas 209 feições consideradas como áreas úmidas e com extensão total de 176,24 km². As composições coloridas falsa cor mais adequadas para identificar as áreas úmidas foram RGB543 e RGB743.

Palavras-chave: Áreas Úmidas. Hidrogeomorfologia. Sensoriamento remoto.

ABSTRACT

Wetlands are complex systems, not yet fully understood by science. They perform important functions for the ecosystem, such as regulating water levels between dry and wet periods, supporting the local ecosystem, water purification and carbon storage. These areas are decreasing due to several factors before being properly identified and registered, requiring research that seeks to understand their dynamics, carry out a temporal analysis, identify and emphasize their importance. The aim of this research is to use satellite images to identify, map the location and extent of wetlands in the form of oxbow lakes that occur longitudinally in the floodplain. The study area is located in the upper course of the São Francisco river, from its source, coordinates 20°18'27.23"S, 46°32'10.42"W, in the Serra da Canastra region, to the beginning of Três Marias lake, 18°57'46.66"S, 45°7'17.50"W. In the context, flood pulses were identify through fluviometric data from the Ponte do Chumbo station, monitored by the National Water Agency, applied remote sensing resources and techniques on images from the Landsat 5 satellite, TM sensor, acquired on the website of the National Institute for Space Research (INPE) with the aim of identifying and mapping the location and extent of humid areas from 1997 and 2008. These images were processed in Quantum GIS (QGIS) version 3.16. As a result, false color images were obtained for the two dates for which the photointerpretation key was created. The main target of analysis was the spectral response of the water, assuming that marginal lagoons are susceptible to different hydrological dynamics. The maps were produced with images recorded on 01/08/1997, with a river elevation of 1,232 cm, where 80 features considered humid areas were identified, with a total length of 584.88 km². The map for the date of 04/12/2008, in which the river elevation was 782 cm, 209 features were identified considered as humid areas and with a total extension of 176.24 km². The most suitable false color compositions for identifying humid areas were RGB543 and RGB743.

Key Words: São Francisco Basin. Wetlands. Remote Sensing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sítios Ramsar Brasileiros.....	17
Figura 2- Ocupação áreas úmidas.....	22
Figura 3 - Maiores áreas úmidas, considerando sua extensão, na porção central e norte da América do Sul.....	23
Figura 4 - Esquema Planície de Inundação	25
Figura 5 - Quatro elementos fundamentais das técnicas de sensoriamento remoto.....	27
Figura 6 - Esquema onda eletromagnética	29
Figura 7- Espectro eletromagnético – principais regiões	30
Figura 8 - Interação Sol - Terra – Satélite	31
Figura 9 - Interação da luz solar com a atmosfera e a superfície	31
Figura 10 - Gráfico comprimento de onda X % de reflectância de alguns alvos	34
Figura 11- Coeficiente de absorção da água pura.....	35
Figura 12 - Espectro de absorção de matéria orgânica dissolvida na água	36
Figura 13: Coeficiente de absorção da clorofila a diferentes concentrações.....	37
Figura 14: Razão da Irradiância da água com diferentes concentrações de pigmentos	38
Figura 15: Vida útil dos satélites Landsat	39
Figura 16 - Localização da área de estudo na bacia hidrográfica do rio São Francisco.....	43

Figura 17: Localização da Área de Estudo nos municípios.....	43
Figura 18: Mapa Hipsométrico da área de estudo e entorno	45
Figura 19: Exemplos de feições identificadas como pequenas barragens.....	49
Figura 20 - Comparação composição colorida das imagens de 08/01/1997, Satélite Landsat, sensor TM.....	51
Figura 21 - Comparação composição colorida das imagens de 12/04/2008, Satélite Landsat, sensor TM.....	52
Figura 22- Comparação das imagens de 08/01/1997 e 12/04/2008 na composição RGB543 – Satélite Landsat, sensor TM	53
Figura 23 - Imagem 08/01/1997, Composição RGB543.....	54
Figura 24- Imagem 08/01/1997, Composição RGB743.....	55
Figura 25 - Imagem 12/04/2008, Composição RGB543.....	56
Figura 26 - Imagem 12/04/2008, Composição RGB743.....	57
Figura 27 - Exemplo de resposta espectral da água	58

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Serviços ecossistêmicos fornecidos ou derivados de áreas úmidas	21
Quadro 2: Características das bandas do sensor TM.....	41
Quadro 3: Relação data x cota da estação fluviométrica Estação Ponte do Chumbo – 40070000	46
Quadro 4 - Elementos de fotointerpretação de imagens na metodologia de interpretação visual de dados	50
Quadro 5: Quantidade e extensão áreas úmidas	52
Quadro 6 - Chave de fotointerpretação	59

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
1.1. Justificativa	16
1.2. Perguntas norteadoras	18
1.3. Objetivos	19
1.3.1. Objetivo geral	19
1.3.2. Objetivos específicos:	19
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	20
2.1. Áreas úmidas	20
2.2. Planícies de inundação e pulsos de inundação	25
2.3. Sensoriamento remoto.....	27
2.3.1. Radiação eletromagnética	28
2.3.2. Sistemas sensores.....	32
2.3.3. Comportamento espectral dos alvos	33
2.3.4. Comportamento espectral da água.....	34
2.4. Satélite Landsat 5	38
2.4.1. Sensor TM.....	39
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	42
3.1. Bacia hidrográfica do rio São Francisco	42
3.2. Área de estudo.....	42
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	46
4.1. Processo de definição dos dados a serem coletados.....	46
4.2. Seleção de imagens de sensoriamento remoto e definição das composições coloridas falsa cor	46
4.3. Processamento das imagens	47
4.4. Interpretação das imagens	49
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	51

5.1. Testagem de composições coloridas falsa cor.....	51
5.2. Mapeamento das áreas úmidas.....	52
5.3. Resposta espectral da água.....	58
5.4. Chave de fotointerpretação	58
6. CONCLUSÕES.....	60
REFERÊNCIAS	61

1. INTRODUÇÃO

As áreas úmidas são de grande importância para manutenção do ecossistema por prestarem diversos serviços de suporte, provisão, regulação e culturais. De acordo com Mitsch e Gosselink (2007), as áreas úmidas estão entre os ecossistemas mais importantes da terra. Esses autores utilizam as expressões “rins da paisagem” e “supermercado ecológico” ao se referirem a suas funções. Elas são consideradas como um recurso pelo potencial hidrológico que possuem, desempenhando funções valiosas como purificação de água e estoque de carbono (ZEDLER; KERCHER, 2005); regularizando a quantidade da água entre períodos úmidos e secos, protegendo linhas costeiras de erosão e por fim, fornecendo as condições para o desenvolvimento de ecossistemas únicos. São um ambiente de transição, possuindo interações complexas.

Apesar de sua importância, as áreas úmidas sofrem degradação por diversos motivos, como a agropecuária, mineração e urbanização, alterando drasticamente o uso da terra e consequentemente afetando a circulação hidrológica, reconfigurando as funções ecossistêmicas prestadas pelas áreas úmidas. De acordo com Gardner *et al.* (2015), estima-se que 64 a 71% do total das áreas úmidas globais foram perdidas no século XX, sendo que esta perda se estende para este século.

A bacia do rio São Francisco é a quarta maior bacia do Brasil, ocupando 7,5% do território nacional. Segundo Comitê da bacia hidrográfica do rio São Francisco (CBHSF, 2023) sua importância aumenta devido a existência de várias áreas úmidas ao longo de sua extensão, com múltiplas dimensões e características diferenciadas.

Dentre as várias tipologias de áreas úmidas, o foco desta pesquisa está direcionado àquelas conhecidas como lagoas marginais. Elas possuem uma dinâmica muito vinculada com os pulsos de inundação (JUNK; BAYLEY; SPARKS, 1989), responsáveis pelo abastecimento superficial de água para as lagoas marginais (TRINDADE, 2016; OLIVEIRA, 2019).

O sensoriamento remoto é uma das mais importantes técnicas para se obter informações espaciais da cobertura da superfície terrestre (NOVO, 2008). A fim de identificar qualquer elemento na superfície, neste caso as áreas úmidas em uma área extensa, o uso de suas técnicas e produtos são essenciais.

O imageamento por satélites e a geração de mapeamentos de uso e ocupação da terra são poderosas ferramentas porque permitem o conhecimento e o monitoramento da área de estudo, além de fornecer dados para realização de análises e, consequentemente, permitir a elaboração de estratégias de manejo (NOVO, 2008).

A realização desta pesquisa ocorreu a partir do contexto da participação no projeto de pesquisa intitulado: Mapeamento das lagoas marginais do alto curso do rio São Francisco, aprovado no edital 10/2020, do Programa de Fomento à Pesquisa, financiado pela Diretoria de Pesquisa, Inovação e Pós-Graduação (DPIPG) do IFMG campus Ouro Preto. Neste sentido, este estudo, utilizou-se imagens de satélite, softwares de processamento e técnicas pertinentes ao sensoriamento remoto para colher informações sobre a área de estudo delimitada pela participação no projeto de iniciação científica do projeto de pesquisa.

1.1. Justificativa

As áreas úmidas, apesar de serem muito investigadas em abordagens a partir das ciências biológicas, em áreas litorâneas e marinhas, ainda apresentam escassez nas investigações a partir da abordagem da Geografia Física, principalmente para aquelas localizadas no interior continental. Por serem negligenciadas e pouco investigadas, perde-se uma valiosa fonte de recursos hídricos que tem importante papel no fornecimento de água de uma das principais bacias brasileiras e que poderia ser utilizada de forma mais sustentável para as necessidades humanas, por exemplo.

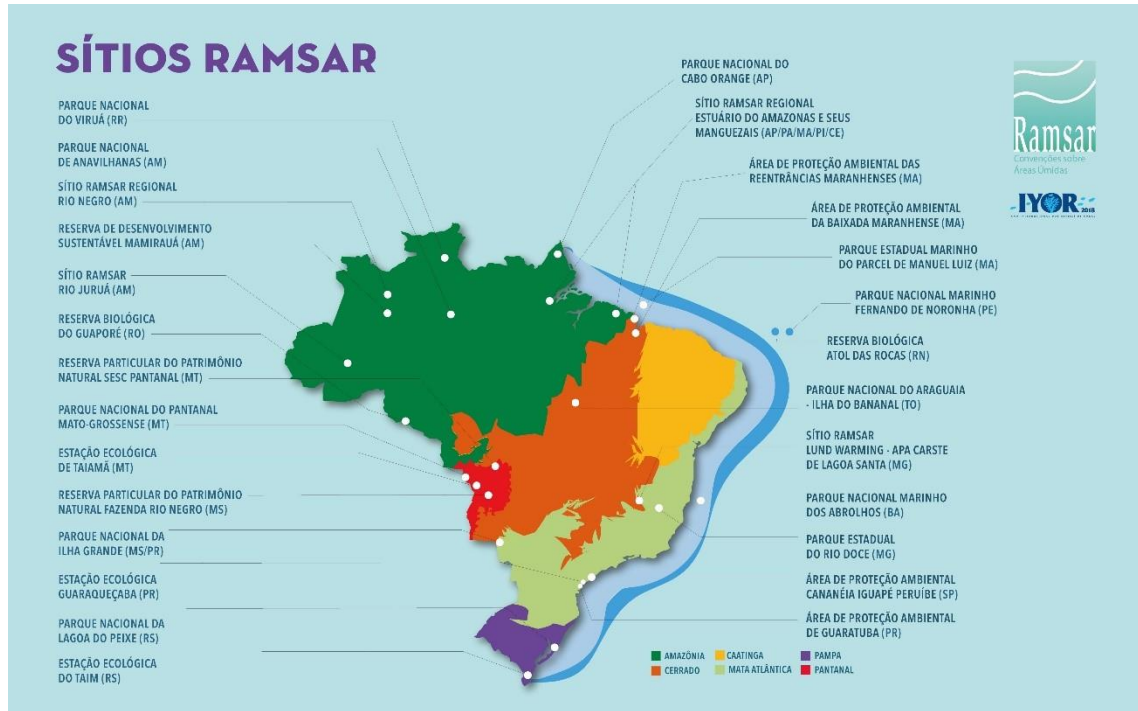
Além disso, são bens em que muitos se beneficiam e poucos se responsabilizam pela manutenção (JUNK *et al.*, 2014, p.28). Segundo Mitch e Gosselink (2007), em nível mundial, a ciência estima que mais de 50% das AUs já foram destruídas ou tiveram sua integridade comprometida, e no Brasil, isso não é diferente, sofrendo diferentes ameaças (JUNK *et al.*, 2014, p.28).

A escolha do rio São Francisco se deve a sua importância nacional, sendo um dos maiores rios brasileiros em extensão e vazão. Mesmo assim, as áreas úmidas integradas a ele são pouco reconhecidas. Apesar de serem pequenas em extensão, quando comparamos com o Pantanal Mato-Grossense ou na África, com o Okavango, por exemplo, desenvolvem as mesmas funções ainda que em menor escala.

Ao se tornar signatário da Convenção de Ramsar, o Brasil procurou estabelecer diversos instrumentos legais para proteção e delimitação das áreas úmidas, dentre eles, a delimitação de Sítios Ramsar, que na legislação brasileira, correspondem a Unidades de Conservação (UC) para favorecer a adoção das medidas e compromissos assumidos pelo país perante a Convenção de Ramsar (GOMES, 2017). Atualmente, existem 27 Sítios na Lista de Ramsar, sendo vinte e quatro (24) correspondentes a Unidades de Conservação, ou parte delas, e três (3) Sítios Ramsar Regionais formados por Unidades de Conservação (BRASIL, 2023), e

destes nenhum está inserido no Alto Curso do Rio São Francisco, conforme a figura 1, demonstrando que ainda são áreas pouco reconhecidas por não pertencerem às grandes áreas úmidas brasileiras.

Figura 1 - Sítios Ramsar Brasileiros



Fonte: www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/ecossistemas-1/areas-umidas/sitios-ramsar-brasileiros

Gomes (2017) aponta que o Brasil pouco avançou na definição, classificação, inventário e proteção legal nas políticas de conservação e uso sustentável para as áreas úmidas. Também podemos dizer que as definições utilizadas nos aparatos legais, são muito amplas e generalizadas, excluindo, por vezes, as pequenas áreas úmidas. Para as áreas úmidas inseridas no alto curso do Rio São Francisco, aplica-se a legislação do estado de Minas Gerais, que apresenta o mesmo problema de generalização do que a legislação federal, deixando pequenas áreas úmidas vulneráveis. A lei que dispõe sobre as políticas florestal e de proteção à biodiversidade no Estado, aponta que são “áreas úmidas, os pantanais e as superfícies terrestres inundadas naturalmente e de forma periódica, cobertas originalmente por florestas ou outras formas de vegetação adaptadas à inundação” (Lei nº 20.922, de 16/10/2013, artigo 2º, inciso VIII).

As pequenas áreas úmidas localizadas no interior continental apresentam diversas formas e dinâmicas. Além disso, apesar das dimensões reduzidas, ocorrem com si lgnificativa

frequência no espaço, o que torna o seu mapeamento muitas vezes, contextualizado a determinada circunstância e delimitação geográfica, devido ao nível de detalhe exibido em cada escala cartográfica adotada.

O uso das geotecnologias permite o conhecimento de áreas extensas e colaboram na elaboração de produtos para planejamento e monitoramento de recursos naturais. O sensoriamento remoto associado a imagens orbitais oferece esses produtos e configura-se como uma ferramenta de relativa facilidade de acesso, necessitando de pouco a médio conhecimento especializado. Aquino *et al.* (2013), considera que são ferramentas indispensáveis à detecção, avaliação e monitoramento dos problemas relacionados ao meio ambiente, isso devido à possibilidade de análise temporal de ações antrópicas, de quantificação, de identificação, e localização das ações antrópicas.

Segundo o mesmo autor, sua importância está resguardada também na integração e sobreposição de diferentes dados, em diferentes escalas, permitido pelos sistemas de informação geográfica, facilitando a tomada de decisões e reorientações, quando necessárias, de políticas de uso e ocupação do solo (AQUINO *et al.*, 2013). Assim, surgiu a necessidade de mapear as áreas úmidas na forma de lagoas marginais do alto curso do rio São Francisco, apontando-as como importante recurso para a vida do rio e de seu entorno.

1.2. Perguntas norteadoras

A partir da contextualização do tema e da apresentação das diferentes características das pequenas áreas úmidas, surgem pressupostos e critérios no momento de determinar as técnicas e instrumentos necessários para mapear as lagoas marginais do alto curso do rio São Francisco:

- Qual a extensão aproximada das áreas úmidas dentro da área de estudo alimentadas superficialmente por pulsos de inundação?
- Quais os melhores períodos para amostrar dados que registrem as áreas inundadas?
- Qual a melhor composição colorida, que coloque em destaque as áreas úmidas, para que seja possível discriminar estas áreas dos demais usos da terra?
- Por que mapear e conhecer as áreas úmidas?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo geral

Mapear as áreas úmidas na forma de lagoas marginais, considerando a sua maior extensão, durante a ocorrência dos maiores pulsos de inundação, no alto curso do rio São Francisco, utilizando dados do sensor TM do satélite Landsat 5.

1.3.2. Objetivos específicos:

- Mapear as lagoas marginais durante os maiores pulsos de inundação, em que haja dados de sensoriamento remoto disponíveis;
- Testar quais composições de falsa cor de imagens do satélite Landsat, sensor TM tem a melhor resposta para o mapeamento das lagoas marginais durante os pulsos de inundação;
- Demonstrar que as áreas úmidas na forma de lagoas marginais inseridas no alto curso do rio São Francisco, são importantes para a vida do rio e da bacia hidrográfica, desempenhando funções equivalentes as grandes áreas úmidas reconhecidas internacionalmente.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Áreas úmidas

As áreas úmidas, conhecidas internacionalmente como *wetlands*, recebem diversos nomes locais, o que prejudica seu reconhecimento perante a população de diferentes regiões. Em geral, podemos dizer que são sistemas complexos e que apresentam diferentes configurações climáticas, geomorfológicas, físicas e químicas ao longo do espaço geográfico, com grande variedade de condições hidrológicas (MITSCH; GOSELINK, 2007).

No decorrer da história, eram vistas como locais que deviam ser saneados, associados a pântanos viscosos e que abrigavam doenças (GUASSELLI; SIMIONI, *apud* EDWARD *et al.*, 1997, p. 11). Com a ampliação do conhecimento científico no século XX (MITSCH; GOSELINK, 2007; RAMSAR CONVENTION ON WETLANDS, 2018), sabe-se que elas desempenham diversas funções, contribuindo positivamente para o equilíbrio do ecossistema como um todo e para a sociedade, conforme Junk *et al.* (2014) enumeram:

(1) Estocagem periódica da água e a sua lenta devolução para os igarapés, córregos e rios conectados, reduzindo com isso as flutuações do nível da água e o perigo de enchentes e secas catastróficas; (2) Recarga dos aquíferos e do lençol freático; (3) Retenção de sedimentos; (4) Purificação da água; (5) Fornecimento de água limpa; (6) Habitats para animais, silvestres e domésticos; (7) Irrigação da lavoura; (8) Regulagem do microclima; (9) Recreação (banho, pesca, lazer); (10) Ecoturismo; (11) Manutenção da biodiversidade; (12) Estocagem de carbono orgânico; (13) Moradia para populações tradicionais; (14) Fornecimento de produtos madeireiros e não madeireiros (fibras, plantas medicinais, frutas, etc.), pescado, produtos agrários e de pecuária (JUNK *et al.*, 2014, p. 28).

As funções desempenhadas pelas áreas úmidas são diversas e convergem em benefícios para o bem-estar humano, regulação do clima, mitigação das mudanças climáticas e possuem também importância cultural (MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005). O quadro 1, apresenta outras funções.

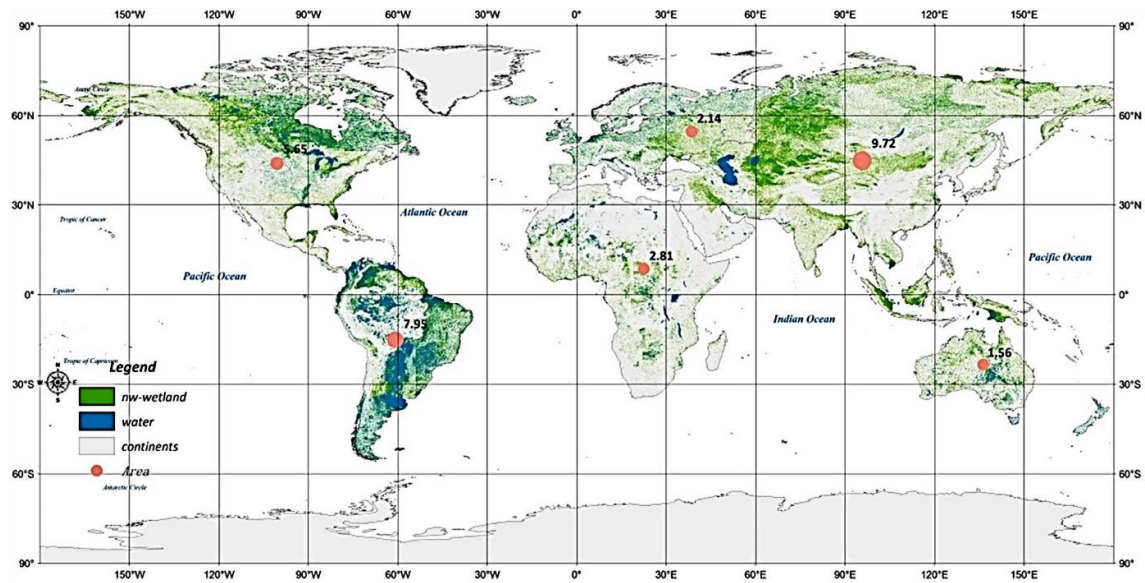
Quadro 1- Serviços ecossistêmicos fornecidos ou derivados de áreas úmidas

SERVIÇOS	COMENTÁRIOS E EXEMPLOS
PROVISIONAMENTO	
Comida	Produção de peixes, caça, frutas e grãos
Água Doce	Armazenamento e retenção de água para uso doméstico, industrial e agrícola
Fibra e Combustível	Produção de toras, lenha, turfa, forragem
Bioquímica	Extração de medicamentos e outros materiais da biota
Materiais genéticos	Genes para resistência a patógenos de plantas, espécies ornamentais e assim por diante
REGULAÇÃO	
Regulação climática	Fonte e sumidouro de gases de efeito estufa; influenciar a temperatura local e regional, precipitação e outros processos climáticos
Regulação da água (fluxos hidrológicos)	Recarga/descarga de águas subterrâneas
Purificação de água e tratamento de resíduos	Retenção, recuperação e remoção do excesso de nutrientes e outros poluentes
Regulação de erosão	Retenção de solos e sedimentos
Regulamentação de perigos naturais	Controle de inundações, proteção contra tempestades
Polinização	Habitat para polinizadores
CULTURAL	
Espiritual e inspirador	Fonte de inspiração; muitas religiões atribuem valores espirituais e religiosos a aspectos dos ecossistemas de AU
Recreativo	Oportunidades para atividades recreativas
Estético	Muitas pessoas encontram beleza ou valor estético em aspectos dos ecossistemas de AU
Educacional	Oportunidades de educação e treinamento formal e informal
SUPORTE	
Formação do solo	Retenção de sedimentos e acúmulo de matéria orgânica
Ciclo de nutrientes	Armazenamento, reciclagem, processamento e aquisição de nutrientes

Fonte: MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005, p.2.

Mundialmente, a área ocupada pelas áreas úmidas pode corresponder até 29,83 milhões de km² (MITSCH; GOSELINK, 2007) e elas ocorrem principalmente em regiões tropicais, entre as latitudes 10° N a 20° S, e nas médias - altas latitudes do hemisfério Norte, entre 40° N e 60° N (HU *et al.*, 2017), conforme a figura 2.

Figura 2- Ocupação áreas úmidas

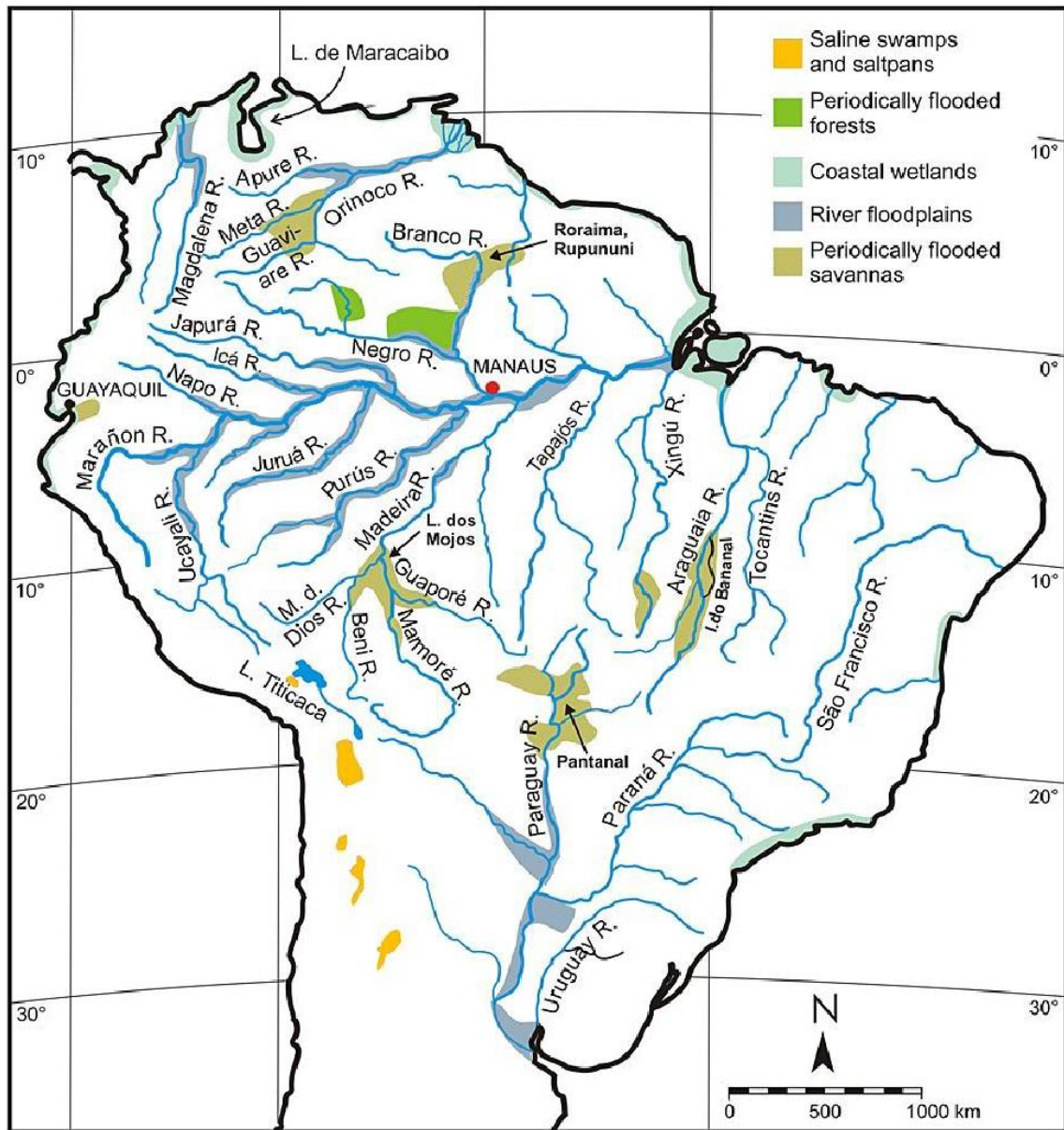


Unidade de área: milhões de Km².

Fonte: HU *et al.*, 2017.

Estima-se que as áreas úmidas ocupem cerca de 20% do território brasileiro (figura 2), apesar de possuírem variação de tamanho e tipologias em função do total anual e frequência de chuvas, da altitude e do relevo plano (INAU, 2014; JUNK *et al.*, 2014).

Figura 3 - Maiores áreas úmidas, considerando sua extensão, na porção central e norte da América do Sul.



Fonte: JUNK, 2007.

As áreas úmidas apresentam-se em diferentes formas e tamanhos (JUNK *et al.*, 2015), fato que dificulta a delimitação e definição única e aplicável nos diferentes instrumentos legais e científicos que contemple toda a diversidade de áreas úmidas. A partir da década de 1970, buscam-se definições teóricas por parte da comunidade científica.

Ao reconhecer a importância dessas áreas, são assinados tratados internacionais e convenções que objetivam desenvolver medidas de proteção e conservação como a Convenção de Ramsar, Irã, que ocorreu em 1971, e que foi “um tratado intergovernamental que estabelece

marcos para ações nacionais e para a cooperação entre países com o objetivo de promover a conservação e o uso racional de áreas úmidas no mundo” (BRASIL, 2022).

Em 1993, o Brasil se torna o signatário dessa convenção, através do decreto que promulga a Convenção sobre Zonas Úmidas de importância internacional, especialmente como habitat de aves aquáticas, conhecida como Convenção de Ramsar, de 02 de fevereiro de 1971 (Decreto federal nº 1.905, 16 de maio de 1996), pressupondo-se uma política nacional para a gestão inteligente (*wise management*) e proteção das AU e sua biodiversidade (JUNK *et al.*, 2015). Sendo assim, uma das definições sobre as áreas úmidas adotada nacionalmente é proveniente de tal decreto, conforme trecho a seguir.

São ecossistemas na interface entre ambientes terrestres e aquáticos, continentais ou costeiros, naturais ou artificiais, permanente ou periodicamente inundados ou com solos encharcados. As águas podem ser doces, salobras ou salgadas, com comunidades de plantas e animais adaptados à sua dinâmica hídrica (Decreto federal nº 1.905, 16 de maio de 1996, artigo 1).

Fazendo jus a variedade de definições, podemos citar outros instrumentos que tentam defini-las. A lei federal que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa, define que as áreas úmidas são “pantaneais e superfícies terrestres cobertas de forma periódica por águas, cobertas originalmente por florestas ou outras formas de vegetação adaptadas à inundações” (Lei 12.561 de 2012, artigo 3º, inciso XXV). Esta foi uma das primeiras vezes que o termo áreas úmidas foi utilizado em uma lei federal (BARROS, 2022).

A fim de trazer algum esclarecimento a respeito das áreas úmidas, utilizaremos a definição de que: são a transição entre os ambientes terrestres e aquáticos, que podem ser lagos profundos e oceanos, dependendo das condições de ambos. Aparentemente essas áreas podem parecer isoladas e nesse caso, o sistema aquático no qual dependem, é um lençol freático aquífero (MITSCH; GOSSELINK, 2007).

Além da definição, Mistch e Gosselink (2007) apontam que para uma área úmida ser considerada como tal, o importante é ter uma troca hidrológica intensa próxima e conter os seguintes elementos:

- 1) todas têm uma cobertura de água, mesmo que rasa, ou a existência de solos saturados na superfície ou muito próximo a ela;
- 2) todas acumulam matéria orgânica (MO), por exemplo, a partir da decomposição de plantas, que se decompõem lentamente;
- 3) todas suportam uma variedade de plantas e animais adaptados às condições de saturação por água.

Em alguns países, essas áreas sofrem com riscos ambientais que resultam na perda ou na degradação destas áreas, impossibilitando o seu uso. Mesmo com toda a importância, função e alta cobertura territorial destas áreas, a perda de áreas úmidas no Brasil pode ser resultante de uma combinação de fatores incluindo a redução do nível/vazão dos rios (JUNK *et al.*, 2014) e mudança no uso da terra. Em complemento, muitas AU foram drenadas e transformadas em áreas agrícolas, industriais e urbanas ou degradadas pela falta de saneamento, sendo consideradas focos de doenças (DIEGUES, 2002).

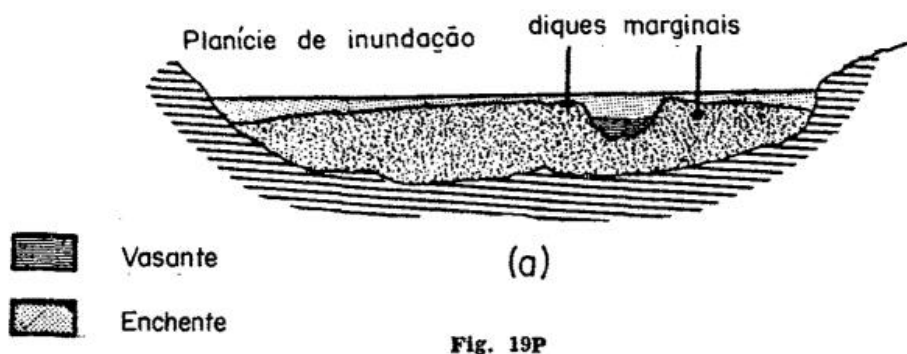
Alguns dos principais riscos para as áreas úmidas brasileiras são a drenagem pela agropecuária, poluição por esgotos, resíduos domésticos, industriais e de mineração, construção de barragens e diques e as mudanças climáticas globais (JUNK *et al.*, 2014). A falta de uma legislação específica para proteção e regulamentação do uso destas áreas (INAU, 2014) configura um grande problema para a conservação e para garantir as funções destas áreas.

2.2. Planícies de inundação e pulsos de inundação

Planícies de inundação são “terrenos baixos adjacentes a rios, lagos e oceanos, que são inundados periodicamente em intervalos de frequência variáveis” (Federal Emergency Management Agency, 2002, seção 2, 2-1)

Guerra (1993) define como “banquetas pouco elevadas acima do nível médio das águas, sendo frequentemente inundadas por ocasião das cheias”. A figura 4 demonstra as principais partes de uma planície de inundação.

Figura 4 - Esquema Planície de Inundação



Fonte: GUERRA, 1993, p. 339.

Podemos considerar as planícies como ambientes de transição aquático-terrestre e Scheren (2014) aponta que elas compreendem diversos ambientes dos quais destacam-se a bacia de inundação, os depósitos da planície de inundação e as áreas úmidas. Sua importância ocorre devido às funções que desempenham, sendo elas: transporte e armazenamento das águas

subterrâneas, recarga de aquíferos, controle da erosão dos rios, controle de cheias, redução das taxas de sedimentação, manutenção da qualidade da água e o apoio a ecossistemas altamente produtivos (TASK FORCE ON THE NATURAL AND BENEFICIAL FUNCTIONS OF THE FLOODPLAIN, 2002).

Em relação à dinâmica, “uma planície de inundação pode estar inundada em determinados períodos, porém apenas em decorrência de eventos chuvosos extremos quando a calha não suporta a vazão ou a quantidade de água, ocorrendo extravasamento para o leito maior” (SCHEREN, 2014, p. 30)

O pulso de inundação, “é uma forma científica de se falar do processo anual de enchente e seca que ocorre a cada ano” (RESENDE, 2023, online). Junk (2015) aponta que “a sazonalidade hídrica em todo o território brasileiro, com exceção do extremo sul do país, resulta de uma época chuvosa e outra seca, bem definidas no ciclo anual”, portanto, atribui-se a esse fato, a variação da descarga dos rios, riachos e córregos. Os pulsos de inundação resultam no alagamento de grandes áreas ao longo dos sistemas de drenagem (JUNK *et al.*, 2015).

O conceito desenvolvido por Junk; Bayley e Sparks (1989), descreve o pulso de inundação como:

“a principal força direcionadora responsável pela existência, produtividade e interações da biota em sistemas rio-planície de inundação”, no qual “um pulso previsível de longa duração gera adaptações e estratégias que propiciam o uso eficiente dos atributos da zona de transição aquática/terrestre” (Junk, W.; Bayley, P. B.; Sparks, R. E, 1989, p.112).

Através do pulso de inundação, ocorre troca de material e nutrientes nessas áreas de transição. O ciclo se configura em chegada de materiais e nutrientes na planície de inundação devido a enchente, troca de energia e materiais entre o rio e a planície de inundação e ao término da enchente, a água da planície vai se infiltrando, evaporando ou escoando para outros sistemas de drenagem de rios ou lagoas. (JUNK; BAYLEY; SPARKS, 1989; JUNK; WANTZEN, 2004). Por fim, estes pulsos são criados por condições geomorfológicas e hidrológicas previsíveis ou não, variando em relação ao tempo de duração (OLIVEIRA, 2019).

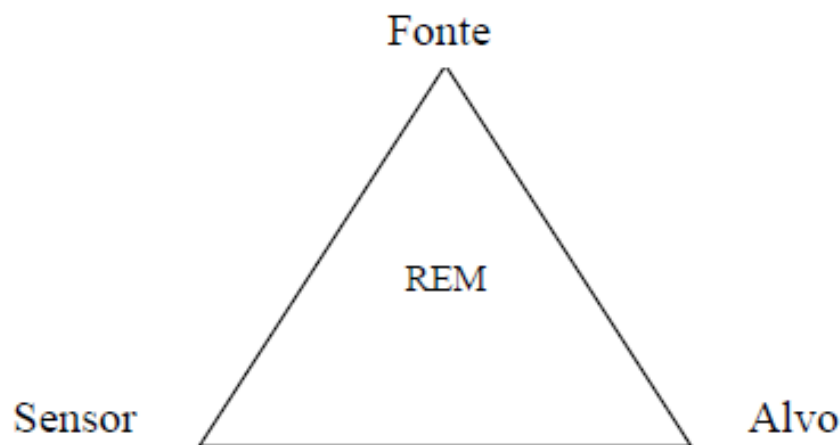
As áreas úmidas que ocorrem no interior continental, podem ocorrer associadas às planícies de inundação, ou de forma isolada em superfícies de topo. Para aquelas que ocorrem próximo aos canais de drenagem, o regime hidrológico durante a época úmida condiciona a ocorrência das áreas úmidas, que são dependentes das variações de precipitação anual, pois surgem pelo transbordamento ou da migração lateral dos canais fluviais (JUNK; BAYLEY; SPARKS, 1989; TRINDADE, 2016; OLIVEIRA, 2019). Devido a isso, essas áreas úmidas são

do tipo com nível de água flutuante como ocorre em outras áreas úmidas da América do Sul (JUNK; BAYLEY; SPARKS, 1989; JUNK, 2015; ALHO; SABINO, 2012). Em resumo, essas áreas úmidas dependem dos pulsos de inundação que possibilitam a recarga da água superficial destas áreas úmidas que estão localizadas nas planícies de inundação.

2.3. Sensoriamento remoto

Visando contribuir para o conhecimento das áreas úmidas na forma de lagoas marginais, pode-se utilizar os dados gerados por sensoriamento remoto, que permitem a observação de extensas áreas, a fim de gerar dados, permitindo o mapeamento temático de recursos naturais, como as áreas úmidas. As técnicas envolvidas no sensoriamento remoto envolvem três elementos principais, conforme a figura 5 indica.

Figura 5 - Quatro elementos fundamentais das técnicas de sensoriamento remoto.



Fonte: NOVO; PONZONI, 2001.

O sensoriamento remoto pode ser definido como a obtenção de informações sobre objetos sem entrar em contato físico com os mesmos. Ampliando essa definição, citamos Menezes e Almeida (2012):

Sensoriamento Remoto é uma ciência que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres (MENEZES E ALMEIDA, 2012, p. 3).

Outra definição, complementar a anterior, é apresentada por Novo (2008):

(...) a utilização conjunta de sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados colocados a bordo de aeronaves, espaçonaves, ou outras plataformas, com o objetivo de estudar eventos, fenômenos e processos que ocorrem na superfície do planeta Terra a partir do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que o compõem em suas mais diversas manifestações (NOVO, 2008, p 4).

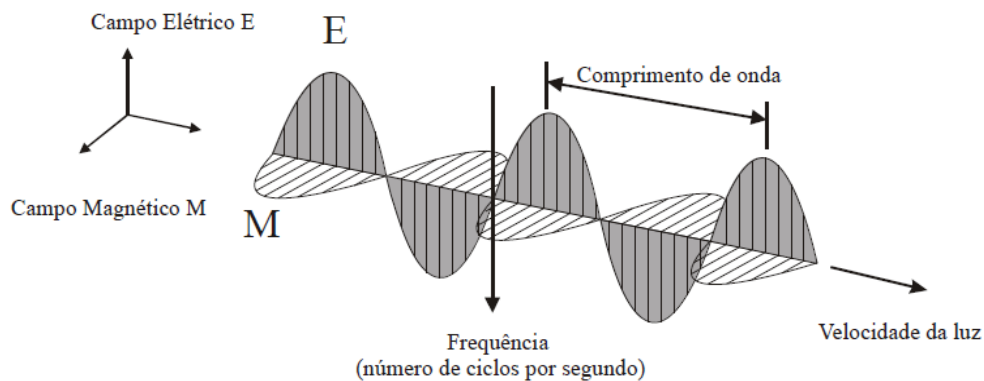
Em qualquer definição e assim como no esquema 1 (Figura 5), a radiação eletromagnética (REM) é o ponto central do sensoriamento remoto está diretamente ligada ao entendimento do processo de aquisição de imagens dentro do sensoriamento remoto. Ela conecta os elementos dos vértices da figura 5, sendo: o sensor, que é o instrumento capaz de coletar e registrar a REM refletida ou emitida pelo objeto, que também é denominado alvo, e que representa o elemento do qual se pretende extrair informação (NOVO; PONZONI, 2001, p.7). Inicialmente, trataremos do entendimento da radiação eletromagnética.

2.3.1. Radiação eletromagnética

Podemos dizer que a REM é o meio pelo qual a informação é transferida do objeto ao sensor, sendo uma forma dinâmica de energia que se manifesta a partir de sua interação com a matéria (NOVO, 2008, p.11). Foi concebida por James Clerk Maxwell (1831-1879) como uma onda eletromagnética que se desloca pelo espaço, sendo gerada toda vez que uma carga elétrica é acelerada e que gera ao mesmo tempo um campo elétrico e magnético, vibrando ortogonalmente entre si (JENSEN, 2011, p. 40; MENEZES; ALMEIDA, 2012).

Em resumo, podemos dizer que a REM é resultado da emissão de energia eletromagnética por qualquer corpo que esteja com a temperatura acima de zero absoluto (0° K) (BARBOSA *et al.*, 2019, p. 27). A REM possui por natureza, uma dualidade de comportamento, sendo onda e energia ao mesmo tempo (MENEZES; ALMEIDA, 2012). As ondas eletromagnéticas se propagam no vácuo na velocidade da luz e a medida entre dois picos consecutivos, determina-se o comprimento de onda, representado pela letra grega λ e é normalmente medido em micrômetros (μm) ou nanômetros (nm). A figura 6 demonstra os conceitos que envolvem a onda eletromagnética:

Figura 6 - Esquema onda eletromagnética



Fonte: MENESES; ALMEIDA (2012).

O Sol representa a fonte inicial da maioria da energia eletromagnética registrada pelos sistemas de sensoriamento remoto no planeta Terra. Essa energia, ao ser gerada, se propaga desde o Sol até chegar ao planeta Terra, interagindo com a atmosfera, podendo afetar a velocidade da radiação, seu comprimento de onda, sua intensidade e sua distribuição espectral (JENSEN, 2009).

Sendo assim, a REM interage com diferentes materiais durante sua trajetória pela atmosfera até chegar na superfície terrestre. Quando a onda eletromagnética se propaga em meio ou material, sua velocidade dependerá das propriedades elétricas, magnéticas e frequência por onde ela se propaga, ou do comprimento de onda. Quando a onda penetra na matéria, o comprimento de onda se modifica com a mudança da velocidade de propagação. A isso, dá-se o nome de índice de refração e por tanto, cada material que compõe a superfície da terra, possuem diferentes índices (NOVO, 2008, p.13-14). Portanto:

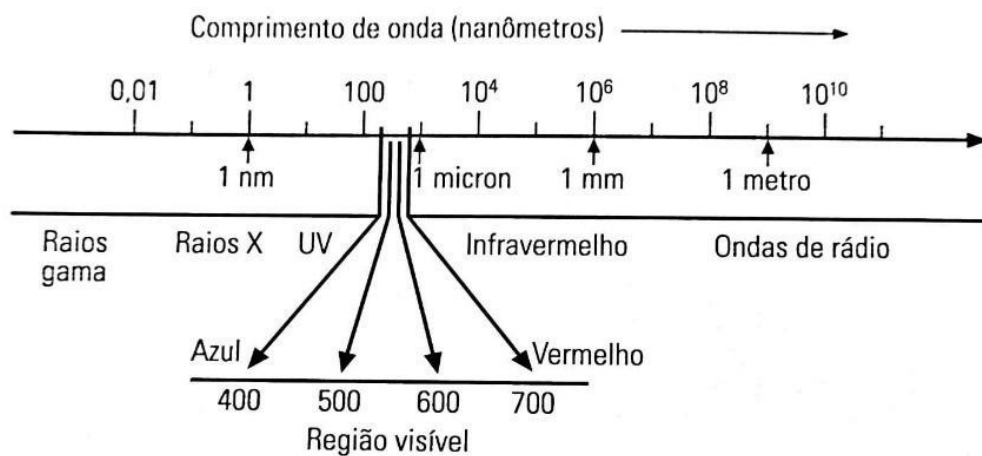
O índice de refração do meio é uma propriedade importante no processo da interação da radiação eletromagnética (REM) com a matéria, pois vai controlar a proporção de radiação refletida pelo meio. Quando a onda eletromagnética atravessa a interface entre dois meios com diferentes índices de refração (ar-água, por exemplo). Esta sofre uma mudança na direção de propagação (NOVO, 2008, p. 15).

O índice de refração varia ligeiramente em diferentes comprimentos de onda. Como a luz branca pode ser decomposta em diferentes “cores” ou comprimentos de onda ocorre também o espalhamento da radiação pelas partículas atmosféricas e que se difere da refração por dispersar a energia em direções imprevisíveis (JENSEN, 2009). Esse conceito é importante pois segundo Jensen (2009), o espalhamento “pode reduzir severamente o conteúdo de

informação dos dados de sensoriamento remoto até o ponto que a imagem perde contraste e torna-se difícil diferenciar um objeto de outro”.

O conjunto de comprimentos de onda que compõem a REM é denominado Espectro Eletromagnético, que é dividido em regiões espectrais ou bandas, conforme figura 7 (NOVO, 2008, p.16), e relaciona-se com a forma que a REM pode ser produzida ou detectada. Normalmente representa a partir das radiações gama de alta energia (altíssimas frequências) até radiações de ondas de rádio, que são de baixa energia.

Figura 7- Espectro eletromagnético – principais regiões



Fonte: NOVO, 2008.

A faixa denominada como região do visível é referenciada como luz, que vai de 400nm a 700 nm, é denominada assim porque a maioria dos animais, assim como as pessoas, são capazes de perceber a REM refletida dos objetos que os rodeiam nesta região espectral (NOVO; PONZONI, 2001; BARBOSA *et al.*, 2019). Cada fonte de REM possui seu próprio espectro de radiação. A luz do Sol, por exemplo, não emite somente luz visível, mas também radiação do ultravioleta ou infravermelho de ondas curtas.

Em complemento, a REM ao chegar na superfície terrestre e ao interagir com determinado objeto, esta pode ser refletida, absorvida ou transmitida em diferentes proporções que variam de acordo com o comprimento de onda e com as características biofísicas e químicas (figura 5). No processo de absorção, a energia é absorvida e convertida em outras formas de energia.

Já as variações de energia refletidas, podem ser representadas em curvas e devido a isso, é possível distinguir os objetos na superfície terrestre nas imagens de sensoriamento remoto (JENSEN, 2009; FLOREZANO, 2011). A radiação proveniente do Sol que incide sobre

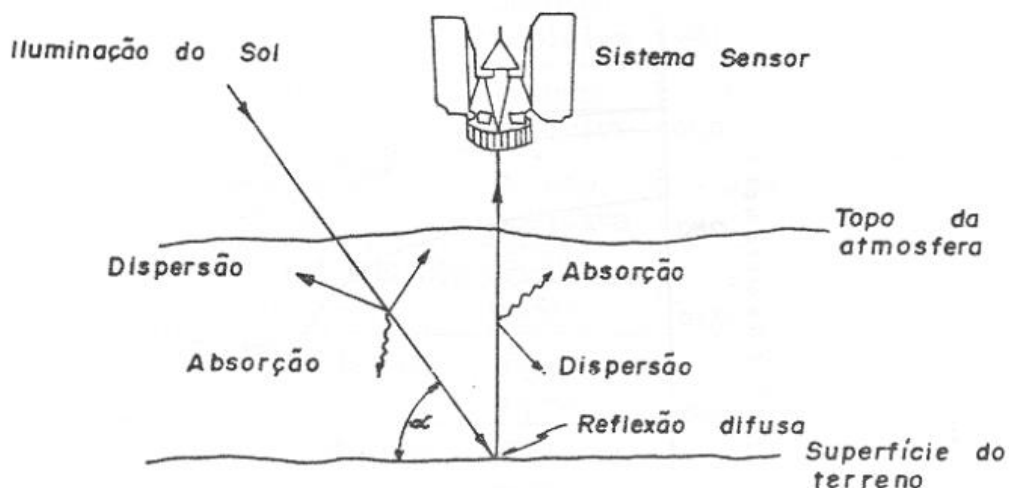
a superfície da terra é denominada de irradiância, e a radiação que deixa a superfície terrestre é denominada de radiância (FIGUEREDO, 2005, p.6). A dinâmica de interação da luz do sol e os efeitos de absorção e dispersão, estão esquematizados nas figuras 8 e 9.

Figura 8 - Interação Sol - Terra – Satélite



Fonte: <http://parquedaciencia.blogspot.com/2013/07/como-funciona-e-para-que-serve-o.html>

Figura 9 - Interação da luz solar com a atmosfera e a superfície



Fonte: GARCIA, G.J.; Sensoriamento Remoto: Princípios e Interpretação de Imagens - Editora Nobel, 1982.

De acordo com o objetivo desta pesquisa, que é o mapeamento das lagoas marginais durante o período de inundação, o alvo a ser discriminado nas imagens de sensoriamento remoto é a presença de água. No contexto do sensoriamento remoto da água, trabalha-se com REM na

região do visível (400 – 700 nm) e infravermelho próximo (até ~900 nm) (BARBOSA *et al.*, 2019, p. 28). A justificativa de sua importância para o sensoriamento remoto é descrita por Meneses (2001):

A radiação eletromagnética, por ter a propriedade de se propagar no espaço vazio ou vácuo, é a que se presta para fins de sensoriamento remoto, pois o sensor que detecta esse tipo de radiação, seja ele uma câmera fotográfica ou um imageador multiespectral, colocado a bordo de aviões ou satélites, nunca estará em contato físico direto com o objeto. Ou seja, entre o objeto e o sensor há um espaço vazio ocupado apenas pela atmosfera (MENESES, 2001, p.15).

O sensoriamento remoto é, portanto, uma medida de trocas de energia resultantes da interação de energia contida na radiação eletromagnética de determinado comprimento de onda, com a energia contida nos átomos e moléculas que constituem aquele material (MENESES, 2001, p.19). Basicamente, consiste no processo de aquisição de informações através de sensores que medem a energia eletromagnética irradiada por um objeto.

2.3.2. Sistemas sensores

Para análise de uma área de estudo, inicialmente deve-se estabelecer o tipo de dado a ser coletado e conseqüentemente, deve-se definir o nível para coleta, que podem ser: Terrestre (representados por torres, e sistemas radiométricos de campo), aéreo (representados pelas aeronaves e helicópteros) e orbital (plataformas espaciais: satélites) (SAUSEN, online; NOVO; PONZONI, 2001, p. 12).

Os sistemas sensores remotos que fazem parte da carga útil de um satélite destinado para observação da superfície terrestre, podem ser chamados de “os olhos do satélite” por serem capazes de detectarem e captarem a radiação eletromagnética refletida ou emitida de objetos na superfície terrestre em determinadas faixas do espectro eletromagnético, convertendo em sinais elétricos que podem ser armazenados ou transmitidos (FLOREZANO, 2008, p. 22; MORAES, 2002, p. 18).

Podem ser classificados em sensores imageadores cujo produto é uma imagem da área em análise; e sensores não imageadores, que apresentam o resultado em forma de gráficos ou dígitos. Também são classificados quanto a fonte de radiação eletromagnética, sendo divididos em passivos, que são aqueles que medem a radiação refletida ou emitida dos objetos que provém de uma fonte externa, como a luz solar; e ativos, que possui uma fonte de radiação e a emitem para o objeto, captando a energia refletida (MORAES, 2002, p. 19; MOREIRA, 2001, p. 105).

A avaliação da qualidade de um sensor costuma ser baseada na sua habilidade em capturar informações minuciosas sobre a energia eletromagnética. As propriedades dos sensores estão intrinsecamente ligadas à sua capacidade de oferecer resoluções distintas: espacial, espectral, radiométrica e temporal.

A resolução espacial refere-se à capacidade do sensor de distinguir objetos, ou seja, é o tamanho do menor objeto na superfície a ser individualizado pelo sensor. A resolução espectral refere-se a faixa espectral na qual o sensor opera, definindo o número de bandas, largura de comprimento de onda das bandas, e onde as bandas estão posicionadas no espectro magnético. Um sensor terá melhor resolução espectral se possui maior número de bandas em diferentes regiões espectrais.

A resolução radiométrica refere-se à capacidade do sensor medir as diferentes intensidades de radiância. Por fim, a resolução temporal refere-se ao intervalo de tempo entre duas observações sobre uma mesma área dependendo das características da órbita do satélite e da faixa de imageamento. Uma baixa resolução temporal afeta a capacidade de avaliar as mudanças em um ambiente de dinâmica acelerada (MORAES, 2002, p. 19; MOREIRA, 2001, p. 105-109; MENEZES; ALMEIDA, 2012, p.25-30; BARBOSA et al, 2019, p. 128; NOVO *et al.*, 2019, p.117).

2.3.3. Comportamento espectral dos alvos

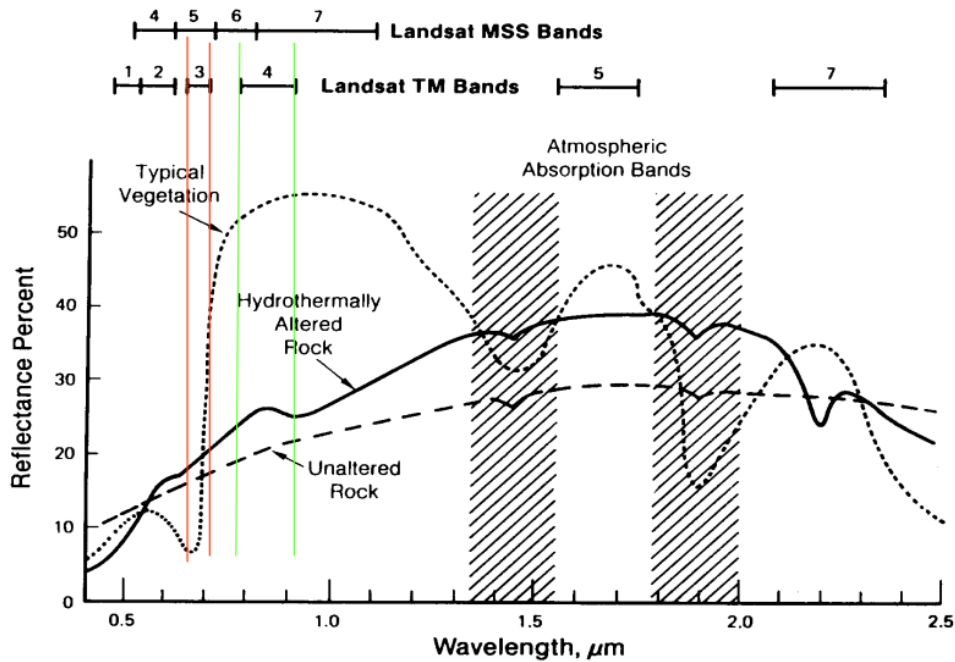
Cada alvo absorve ou reflete de forma diferenciada as faixas do espectro eletromagnético da luz incidente, e isso se deve às diferentes composições físico-químicas de cada um, fazendo com que, cada alvo tenha uma assinatura espectral. O conhecimento do comportamento espectral dos alvos não é só importante para a extração de informações pelo sensor, mas também define a forma de obtê-las e quais os processos que deverão ser submetidas (FIGUEIREDO, 2005, p.7; NOVO, 2008, p.219). A figura 10 demonstra os comportamentos espectrais de diferentes alvos.

Outros fatores, segundo Figueiredo (2005), influenciam o processo de interação e como os sensores a bordo de satélites respondem:

textura, densidade e posição relativa das feições em relação ao ângulo de incidência solar e à geometria de imageamento. Em decorrência desta interação, a radiação que deixa os alvos, leva para os satélites a assinatura espectral dos mesmos. Os sistemas sensores instalados nos satélites são sensíveis a estas diferenças, que as registram em forma de imagens. É importante mencionar que tanto a irradiância (REM que chega aos alvos) como a radiância (REM que deixa os alvos) são fortemente afetadas em suas trajetórias pelos componentes atmosféricos. Áreas nubladas, por exemplo, são impossíveis de serem imageadas por meio da luz solar (FIGUEIREDO, 2005, p. 7).

Nas imagens de satélite, é fundamental atribuir significado às cores pois elas indicam as propriedades de um alvo (NOVO, 2001, p.20). Como o principal alvo da pesquisa é a água, torna-se necessário entender seu comportamento espectral que a diferencia dos demais alvos.

Figura 10 - Gráfico comprimento de onda X % de reflectância de alguns alvos



Fonte: FIGUEIREDO, 2005, p.7.

Legenda: Atmospheric Absorption Bands: Bandas de absorção atmosférica; Hydrothermally altered rock: rocha alterada; Typical Vegetation: Vegetação normal; Reflectance Percent: Porcentagem de refletância; Wavelength: Comprimento de onda.

2.3.4. Comportamento espectral da água

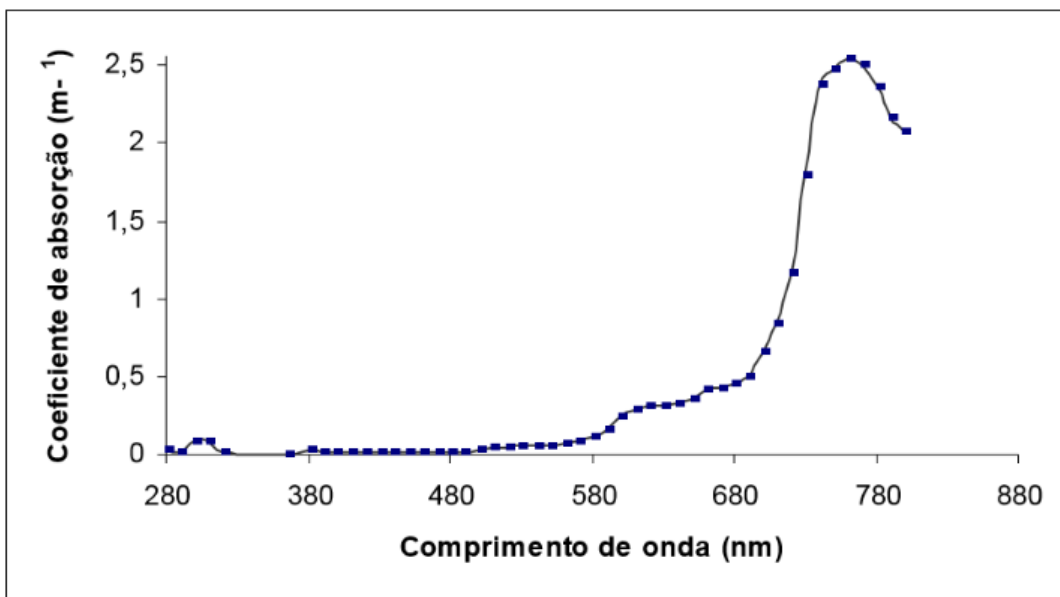
A água se diferencia dos outros materiais por se apresentar no estado líquido, trazendo consequências na interação entre energia e matéria. Os corpos d'água apresentam reflectância média diferenciada, pois a energia refletida é menor em comparação com os demais alvos. Em imagens de composição colorida provenientes de sensores remotos, apresentarão tonalidade escura, mesmo na região do visível em que há maior volume de energia disponível para interação (NOVO; PONZONI, 2001, p. 43).

A água pode sofrer variações de cor, o que acarreta alteração em seu comportamento espectral. A absorção de luz está ligada a presença ou não de determinados componentes. Ao penetrar na água, a radiação sofre alterações atenuadas pela profundidade, diminuindo rapidamente logo nos primeiros metros e mantendo o padrão de decaimento. Então,

a interação qualitativa e quantitativa da luz com a coluna d'água está ligada à sua composição e aos componentes físicos, químicos e biológicos presentes (NOVO; PONZONI, 2011, p. 46).

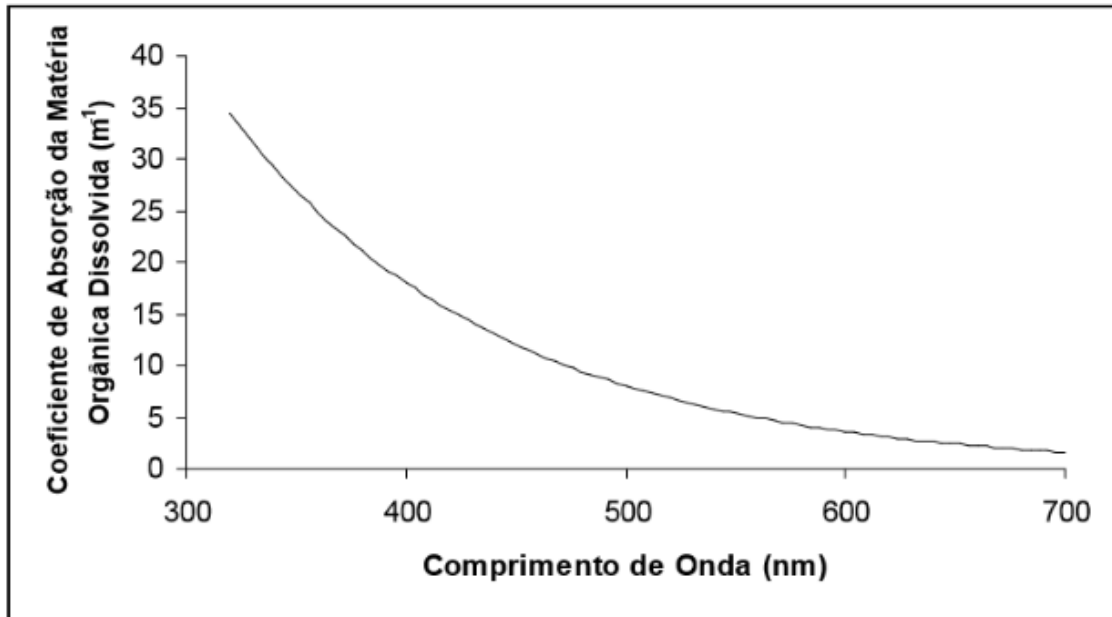
Os fatores que afetam o comportamento espectral são: a própria água, substâncias dissolvidas (matéria orgânica, por exemplo), biota fotossintetizadora (fitoplâncton e macrófitas quando presentes) e partículas não vivas (partículas orgânicas mortas e partículas inorgânicas) (NOVO; PONZONI, 2001, p. 46). Abaixo, nas figuras 11 e 12, encontram-se gráficos que representam os diferentes comportamentos espectrais relacionados a água pura e seus componentes.

Figura 11- Coeficiente de absorção da água pura



Fonte: NOVO; PONZONI *apud* KIRK, 1995.

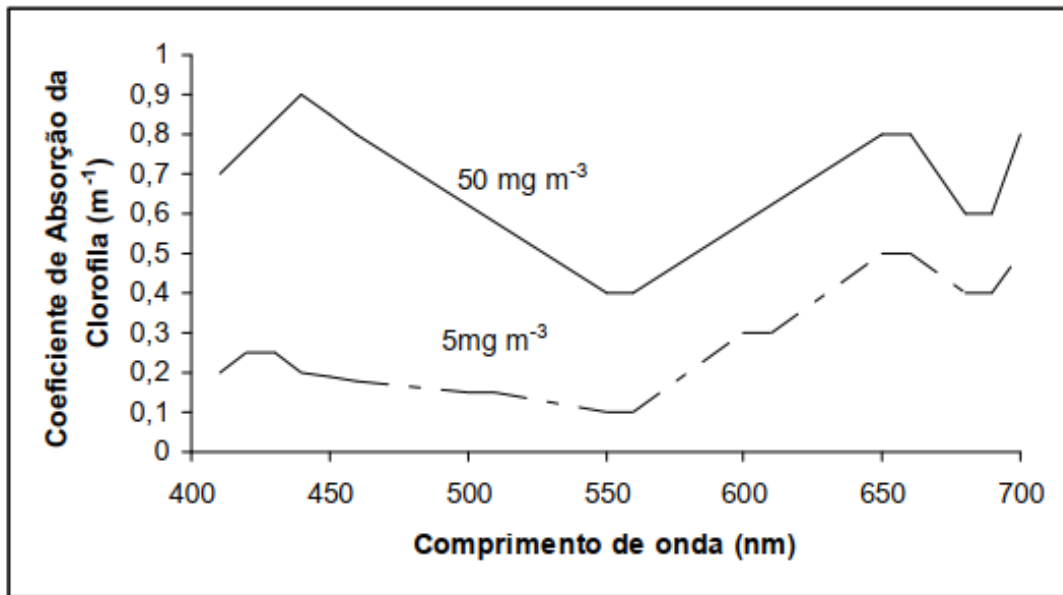
Figura 12 - Espectro de absorção de matéria orgânica dissolvida na água



Fonte: NOVO; PONZONI *apud* KIRK, 1995.

A primeira imagem demonstra que o índice de reflectância eleva-se na região do azul e com pico na região do infravermelho. Já a segunda imagem demonstra que a matéria orgânica é uma das responsáveis pelo aumento do coeficiente de absorção. Ao comparar os gráficos, verifica-se que o máximo de absorção da água com matéria orgânica ocorre na região em que há o mínimo de absorção pela água pura. Conforme há o aumento de matéria orgânica na água, a reflectância diminui principalmente na região do azul, e o máximo passa a ocorrer na região do verde e do vermelho. Quando a concentração é muito grande, a absorção da luz ultrapassa o processo de espalhamento, conferindo à água uma coloração preta (NOVO; PONZONI, 2001, p. 47; NOVO *IN* NETTO, 2001, p.20). Em corpos d'água há também a influência da clorofila no comportamento espectral conforme a figura 13, que demonstra o comportamento da clorofila em diferentes concentrações.

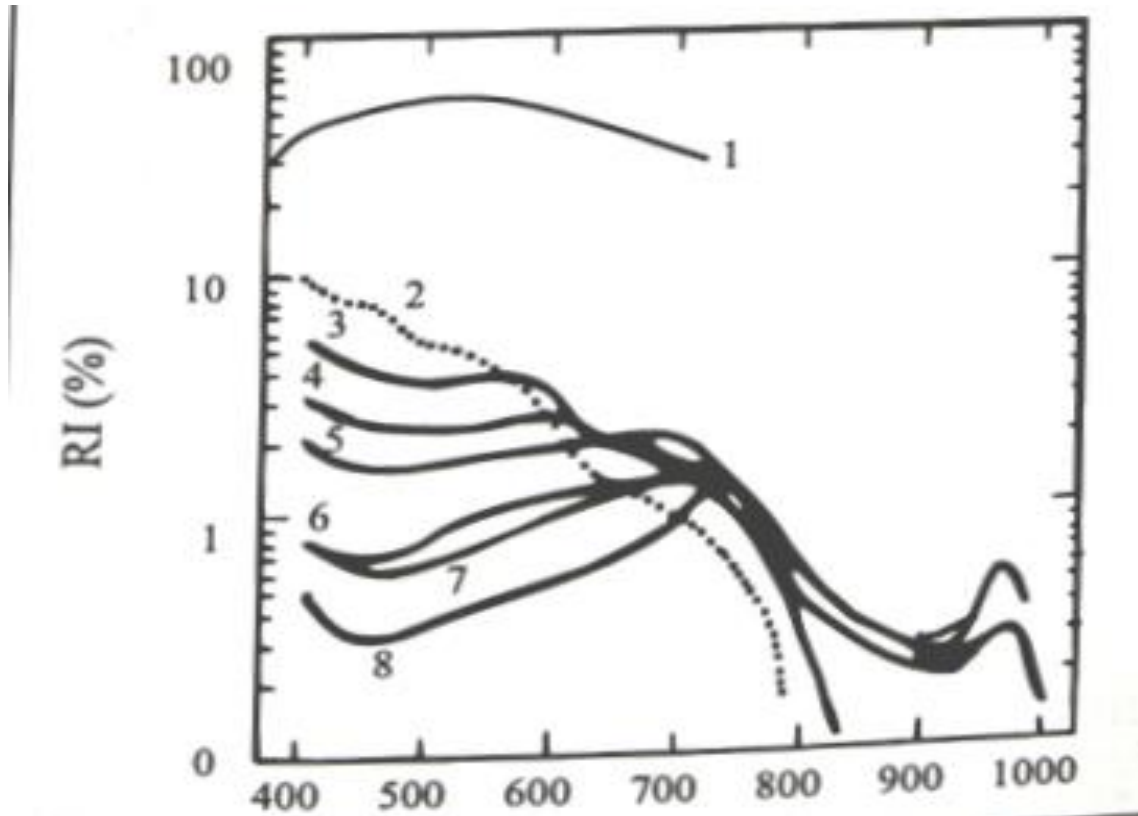
Figura 13 - Coeficiente de absorção da clorofila a diferentes concentrações



Fonte: NOVO; PONZONI *apud* Mobley, 1994.

A clorofila presente em algas e plantas aquáticas é usada como medida para concentração de fitoplâncton cujos pigmentos são responsáveis pela fotossíntese. Os picos de absorção estão na região do azul e do vermelho, portanto quanto maior a concentração desse componente, maior a absorção do azul, e menor reflectância. A figura seguinte demonstra que o máximo da reflectância passa do azul para o verde, então a água com alta concentração de fitoplâncton tende a se apresentar na cor verde justificada pelo máximo da reflectância estar nessa região. Esse comportamento é semelhante a resposta espectral da vegetação.

Figura 14 - Razão da Irradiância da água com diferentes concentrações de pigmentos



Fonte: NOVO IN NETTO *apud* MOBLEY, 1994.

Legenda: RI (razão entre a Irradiância Ascendente e a Irradiância Descendente), 1 (floreescimento de *coccolithophore* sp.), 2 a 8 (concentrações crescentes de clorofila a).

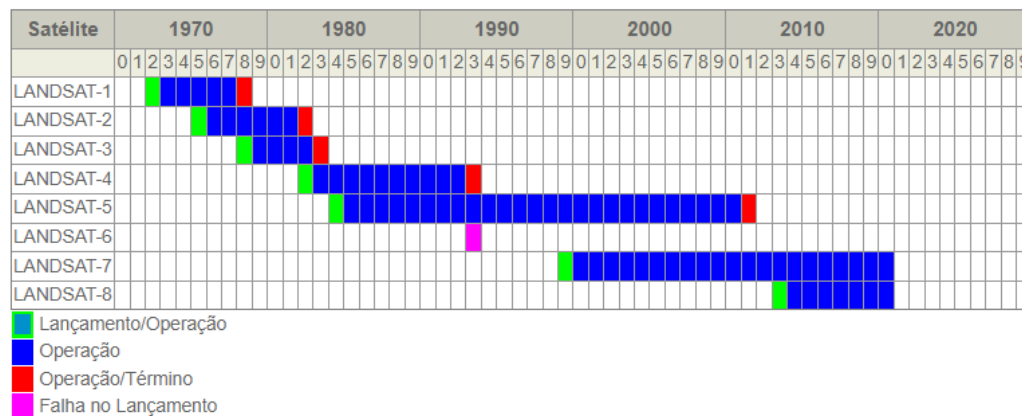
2.4. Satélite Landsat 5

A série de satélites denominados Landsat teve início na segunda metade da década de 60 a partir de um projeto desenvolvido pela Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (NASA). O programa inicialmente foi denominado ERTS (Earth Resources Technology Satellite) e em 1975 passou a se chamar Landsat, dedicando-se exclusivamente à observação de recursos naturais terrestres e foi gerenciado em sua maioria pela NASA e pela U.S. Geological Survey (USGS), envolvendo o lançamento de oito satélites, todos com imagens multiespectrais (INPE, 2020, online; EMBRAPA, 2023, *online*).

O primeiro satélite da série, o Landsat 1 ou ERTS-1, foi lançado em 1972, foi desenvolvido para atuar diretamente em pesquisas de recursos naturais, inaugurando a primeira geração dos satélites da missão. Os satélites posteriores que integraram esse grupo – Landsat-2 e Landsat-3, eram considerados satélites experimentais. Todos os três eram equipados com os instrumentos: as câmeras RBV (Return Beam Vidicon) e MSS (Multispectral Scanner System). (EMBRAPA, online)

O satélite Landsat-4, lançado em 1982, inaugura a segunda geração de satélites, sendo equipado com o MSS e com o sensor TM (Thematic Mapper), projetado para dar suporte em áreas direcionadas a recursos naturais. Dois anos mais tarde, o Landsat-5 foi lançado com os mesmos sensores e o mesmo objetivo, mantendo-se em operação até 2011, atingindo 28 anos ativo sendo o mais longo satélite de observação da Terra, apesar de ter sido projetado para operar por três anos. A uma altitude de 705 km, possuía período de revisita a cada 16 dias. Atualmente, o projeto Landsat possui seu oitavo satélite em operação, o Landsat-8, lançado em 2013. A figura 15 demonstra a vida útil dos satélites Landsat.

Figura 15 - Vida útil dos satélites Landsat



Fonte: EMBRAPA TERRITORIAL. Satélites de Monitoramento. Campinas, 2018. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento>>. Acesso em: 1 mai. 2023

De acordo com Barbosa *et al.* (2019), o Landsat é o único programa que apresenta dados calibrados ao longo de quatro décadas, associando o sucesso aos esforços na documentação dos dados e na estrutura de distribuição. Além disso, esse autor aponta o ganho da relevância das aplicações deste satélite para ambientes aquáticos, desde 2008 com a política de acesso gratuito.

2.4.1. Sensor TM

Esteve a bordo dos satélites Landsat 4 e 5, adquirindo imagens de alta resolução espacial de áreas de 185 km. Operava com 7 bandas na região do visível, infravermelho próximo, médio e termal (Embrapa, 2023, online). Através dessas bandas, os usuários de imagens de satélite conseguem detectar alterações na cobertura terrestre, como alterações na vegetação, urbanização ou presença de água. As bandas desse sensor estão no Quadro 2.

As imagens geradas por esse sensor permitiram detectar importantes recursos naturais e foram utilizadas em diferentes aplicações como monitoramento ambiental e planejamento urbano.

Quadro 2- Características das bandas do sensor TM

BANDA	FAIXA ESPECTRAL	CARACTERÍSTICAS
Bandado visível	0,45 a 0,52 μm	Apresenta grande penetração em corpos de água, com elevada transparência, permitindo estudos batimétricos. Sofre absorção pela clorofila e pigmentos fotossintéticos auxiliares (carotenóides). Apresenta sensibilidade a plumas de fumaça oriundas de queimadas ou atividade industrial. Pode apresentar atenuação pela atmosfera.
Bandado visível	0,52 a 0,60 μm	Apresenta grande sensibilidade à presença de sedimentos em suspensão, possibilitando sua análise em termos de quantidade e qualidade. Boa penetração em corpos de água.
Bandado visível	0,63 a 0,69 μm	A vegetação verde, densa e uniforme, apresenta grande absorção, ficando escura, permitindo bom contraste entre as áreas ocupadas com vegetação (ex.: solo exposto, estradas e áreas urbanas). Apresenta bom contraste entre diferentes tipos de cobertura vegetal (ex.: campo, cerrado e floresta). Permite análise da variação litológica em regiões com pouca cobertura vegetal. Permite o mapeamento da drenagem através da visualização da mata galeria e entalhe dos cursos dos rios em regiões com pouca cobertura vegetal. É a banda mais utilizada para delimitar a mancha urbana, incluindo identificação de novos loteamentos. Permite a identificação de áreas agrícolas.
Bandado infravermelho próximo	0,76 a 0,90 μm	Os corpos de água absorvem muita energia nesta banda e ficam escuros, permitindo o mapeamento da rede de drenagem e delineamento de corpos de água. A vegetação verde, densa e uniforme, reflete muita energia nesta banda, aparecendo bem clara nas imagens. Apresenta sensibilidade à rugosidade da copa das florestas (dossel florestal). Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo a obtenção de informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia. Serve para análise e mapeamento de feições geológicas e estruturais. Serve para separar e mapear áreas ocupadas com pinus e eucalipto. Serve para mapear áreas ocupadas com vegetação que foram queimadas. Permite a visualização de áreas ocupadas com macrófitas aquáticas (ex.: aguapé). Permite a identificação de áreas agrícola
Bandado infravermelho próximo	1,55 a 1,75 μm	Apresenta sensibilidade ao teor de umidade das plantas, servindo para observar estresse na vegetação, causado por desequilíbrio hídrico. Esta banda sofre perturbações em caso de ocorrer excesso de chuva antes da obtenção da cena pelo satélite.
Bandado infravermelho médio	10,40 a 12,50 μm	Apresenta sensibilidade aos fenômenos relativos aos contrastes térmicos, servindo para detectar propriedades térmicas de rochas, solos, vegetação e água.
Bandado infravermelho médio	2,08 a 2,35 μm	Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo obter informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia. Esta banda serve para identificar minerais com íons hidroxilas. Potencialmente favorável à discriminação de produtos de alteração hidrotermal.

Fonte: <http://www.dgi.inpe.br/Suporte/files/Cameras-LANDSAT5/ PT.php>.

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1. Bacia hidrográfica do rio São Francisco

A bacia hidrográfica do rio São Francisco, é uma das maiores bacias hidrográficas no Brasil. De acordo com o Comitê da Bacia Hidrográfica do São Francisco (CBHSF), o rio São Francisco possui extensão total de 2.863 km e área de drenagem de mais de 639.219 km², estende-se desde Minas Gerais, onde o rio nasce, na Serra da Canastra, até o oceano Atlântico, onde deságua, na divisa dos estados de Alagoas e de Sergipe. A área da bacia inclui territórios em 505 municípios divididos em seis estados: Minas Gerais, Goiás, Bahia, Pernambuco, Alagoas e Sergipe, além do Distrito Federal.

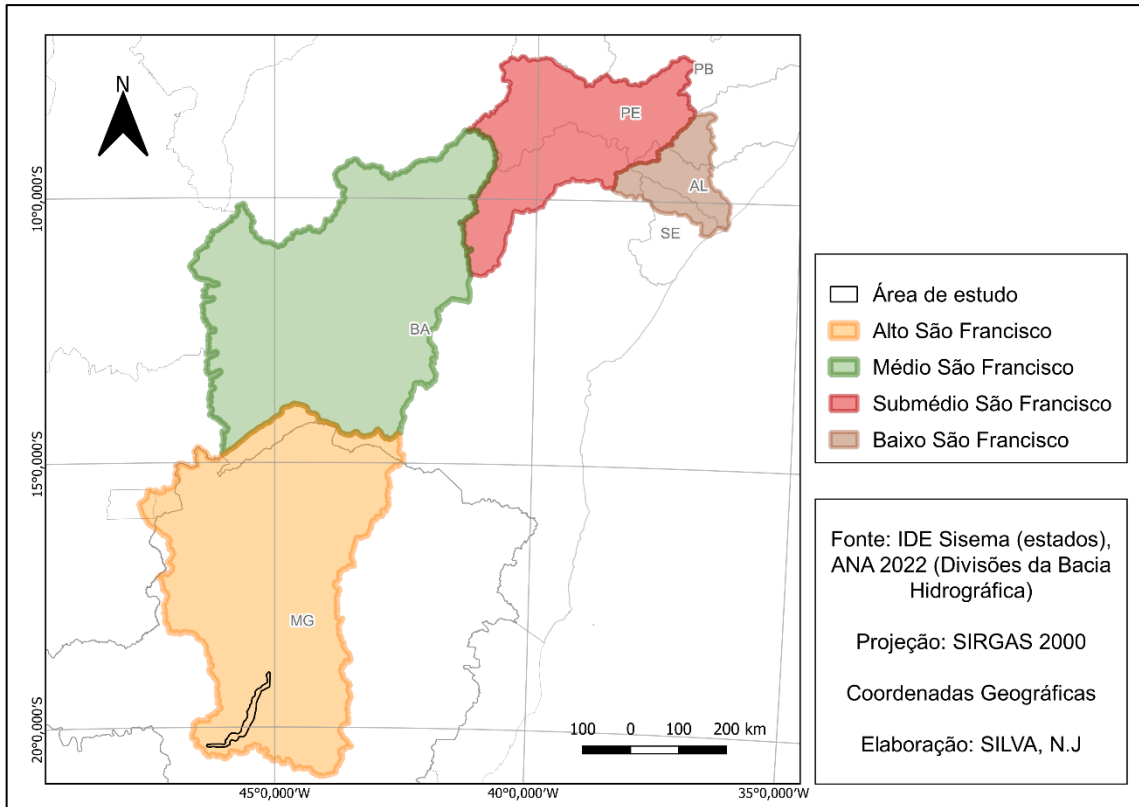
Para fins de planejamento, a bacia foi dividida em quatro zonas ou regiões fisiográficas: Alto, Médio, Submédio e Baixo São Francisco (CBHSF, 2023). Este trabalho se dedica ao mapeamento das lagoas marginais localizadas em um trecho do Alto Curso do rio São Francisco, cujo início é na nascente, no município de São Roque de Minas em Minas Gérias, se prolongando até o início do lago de Três Marias, correspondendo a 40% da área da bacia (CBHSF, 2021).

3.2. Área de estudo

A área de estudo se inicia a jusante da cachoeira Casca d'Anta até a represa de Três Marias, compreendendo os municípios de Pompéu, Abaeté, Quartel Geral, Martinho Campos, Dolores do Indaiá, Bom Despacho, Moema, Luz, Lagoa da Prata, Japaraíba, Bambuí, Iguatama, Arcos, Doloresópolis, Piumhi, Vargem Bonita e São Roque de Minas, na região Oeste de Minas e Central Mineira, dentro da bacia hidrográfica do rio São Francisco, na sub-região do Alto Curso. As figuras 16 e 17 demonstram a localização da área de estudo na bacia hidrográfica e quais municípios estão inseridos nesta área.

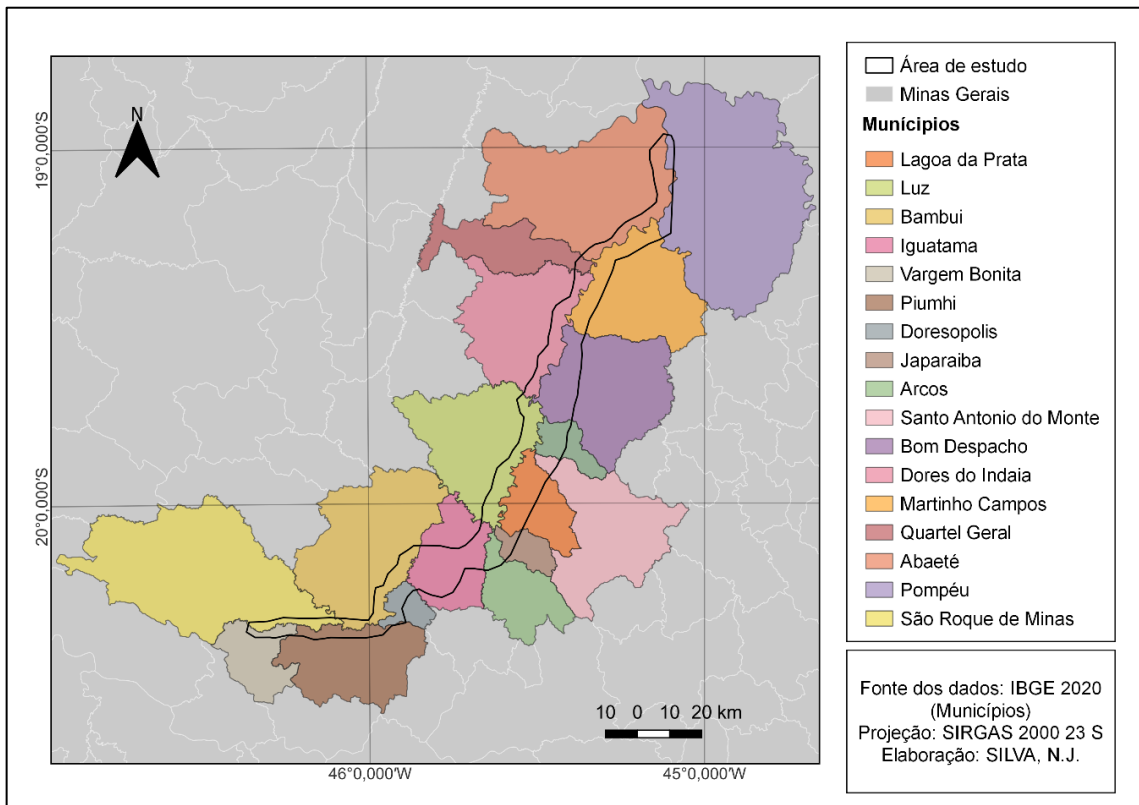
O Alto Curso do rio São Francisco é a sub-região que abriga o maior número de habitantes, aproximadamente 48,8% do total da bacia e é mais urbanizada com 95% da população vivendo em cidades, de acordo com IBGE (BRASIL, 2016). As principais atividades econômicas dessa sub-região e conseqüentemente da área de estudo são as atividades industriais, extração mineral, agroindústria, pecuária e geração de energia. É também uma região com alta taxa de antropização com cerca de 90% (BRASIL, 2016; BRASIL, 2006).

Figura 16 - Localização da área de estudo na bacia hidrográfica do rio São Francisco



Fontes: IDE- Sisema (estados), 2022. ANA (Divisões da Bacia Hidrográfica), 2022

Figura 17 - Localização da Área de Estudo nos municípios



Fontes: IBGE (municípios), 2020. ANA (Divisões da Bacia Hidrográfica), 2022

Partindo para caracterização ambiental, o clima predominante é temperado chuvoso, com chuva de verão e variando de verão moderadamente quente (Cwb) ao sul a verão quente na porção mais ao norte (Cwa), segundo a classificação climática de Köppen, e a faixa de precipitação anual da região é de 2.000 a 1.100 mm (ALMEIDA *et al.*, 2019; REBOITA *et al.*, 2015; MENDONÇA; DANNI; OLIVEIRA, 2007 *apud* ARAÚJO *et al.* 2022). O período úmido ocorre nos meses de novembro a março, concentrando 60% do total das chuvas, e o período seco com as temperaturas mais baixas ocorre nos meses de maio a agosto. A temperatura média máxima é de 26° C e a média mínima é de 16° C (BRASIL, 2016).

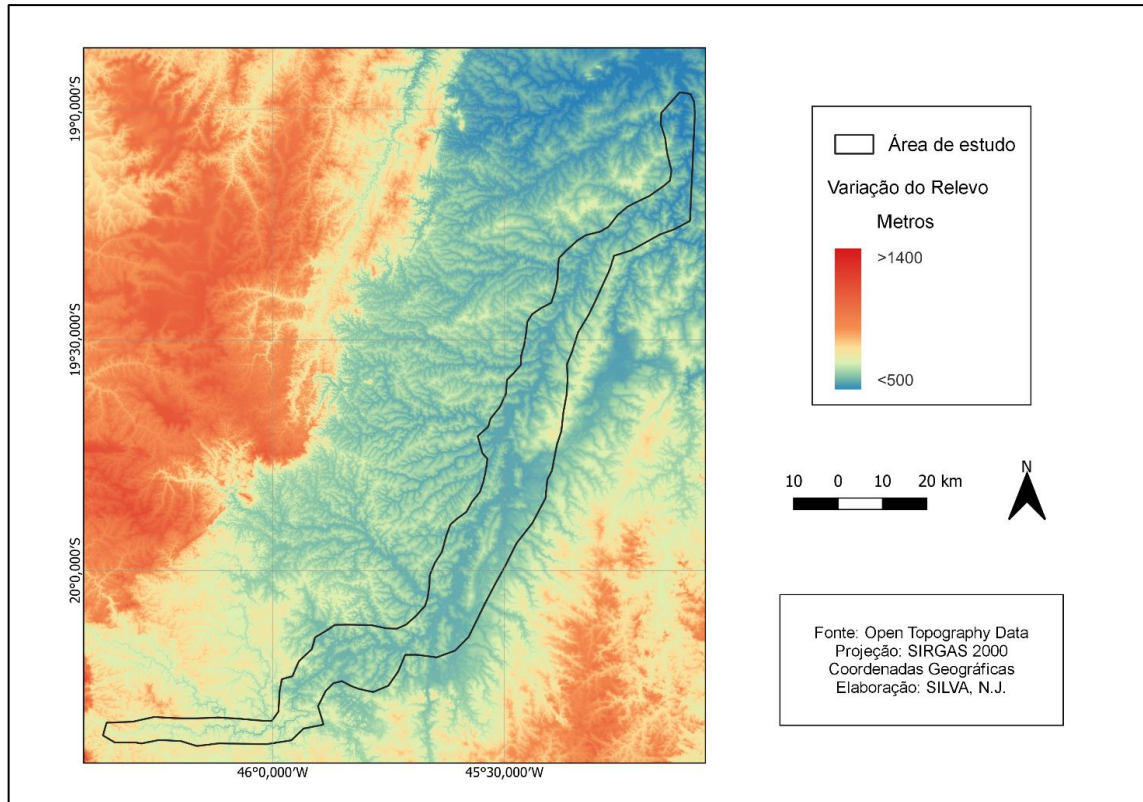
O bioma predominante é o Cerrado, com fragmentos de Mata Atlântica próximo aos canais de drenagem. A agropecuária é a classe de cobertura vegetal predominante seguida pela Savana Parque e Savana gramíneo-lenhosa. Cerca de 85% da água do São Francisco tem origem no Cerrado, associando o nascimento da maioria dos cursos d'água à sua formação conhecida como veredas. Provém do estado de Minas Gerais, 72% da vazão total da bacia do rio São Francisco. As águas da área de estudo são rápidas, frias e oxigenadas (CBHSF, 2023; GODINHO; GODINHO, 2003, p.16; BRASIL, 2016, p. 64).

A litologia da área de estudo caracteriza-se predominantemente pelo grupo Bambuí, que ocupa a maior parte da porção sudeste do cráton, constituindo uma extensa cobertura sedimentar depositada sobre o cráton São Francisco, e que é dividido em duas sequências: o subgrupo Paraopeba na porção inferior, com características pelito-carbonática e depositado em uma plataforma carbonática, e a formação Três Marias superior e terrígena de natureza continental (MINAS GERAIS, 1999).

Em relação à geomorfologia, destacam-se na porção oeste, a Serra da Canastra, SSW, onde inicia o curso do rio São Francisco; a Serra da Saudade que margeia o lado esquerdo do rio. Na porção leste está o Planalto Centro-Sul mineiro e a Depressão de Belo Horizonte próximo às Serras do Quadrilátero Ferrífero e em NW dá início a Serra do Espinhaço Meridional (MARTINS, 2013).

A área de estudo encontra-se no domínio da Depressão do Rio São Francisco com variação topográfica desde 550 a 1.485 metros de altitude. Os maiores valores correspondem a região da Serra da Canastra e os menores valores para o vale do rio São Francisco, conforme a figura 18 que indica as variações de altitude do relevo da área de estudo e do entorno.

Figura 18 - Mapa Hipsométrico da área de estudo e entorno



Fonte: Open Topography Data. Elaboração: a autora

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Processo de definição dos dados a serem coletados

Como etapa inicial desse estudo, tomou-se o levantamento de dados da estação fluviométrica 40070000 monitorada pela Agência Nacional das Águas (ANA) realizado por Aarão *et al.* (2020). Este trabalho consistiu na tabulação dos dados de frequência diária da cota do nível do rio São Francisco desde o ano de 1977 até 2016, possibilitando a identificação dos principais pulsos de inundação que ocorreram neste trecho da bacia.

A partir da organização temporal da cota do nível do rio São Francisco, foi possível identificar os momentos em que o nível do rio esteve mais elevado, caracterizado a ocorrência dos pulsos de inundação.

Em um segundo momento, a partir a identificação dos momentos em que a área de estudo estava com o maior nível do rio, e, portanto, as áreas úmidas na forma de lagoas marginais estavam com altas cotas de inundação, foi possível delimitar os períodos ideais para selecionar as imagens de satélite, a fim de mapear a área inundada.

Foi considerado como um pulso de inundação, os dias cujo nível do rio foi superior aos 600 cm. O quadro 3 apresenta as datas que foram determinadas para a pesquisa de imagens e a cota do rio correspondente.

Quadro 3 - Relação data x cota da estação fluviométrica Estação Ponte do Chumbo – 40070000

Ano	Mês	Dia	Cota rio Estação Ponte do Chumbo (mm)
1992	Fevereiro	12	1242
1992	Fevereiro	28	848
1992	Março	15	735
1997	Janeiro	8	1232
1997	Janeiro	24	1009
1997	Fevereiro	9	800
2008	Março	27	807
2008	Abril	12	782

Fonte: Aarão et al. (2020)

4.2. Seleção de imagens de sensoriamento remoto e definição das composições coloridas falsa cor

Decidiu-se utilizar as bandas do satélite Landsat-5, sensor Thematic Mapper (TM) pela disponibilidade, qualidade, e em razão da série Landsat e do sensor TM serem destinados

a observação de recursos naturais. Para localizar a área de estudo e adquirir corretamente as bandas, foi necessário baixar a grade de cobertura do satélite, que se divide em órbitas e pontos. Tanto a grade, quanto as bandas foram adquiridas junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). A área de estudo está inserida na órbita 219, entre os pontos 73 e 74.

Para escolha da data e conseqüentemente, das bandas a serem trabalhadas, os parâmetros utilizados foram:

- disponibilidade de bandas de ambos os pontos (73 e 74) para a data escolhida;
- as bandas devem ser de uma data em que houve o pulso de inundação conforme o período apresentado no Quadro 3.
- Mínima cobertura de nuvens.

As bandas que atenderam os critérios apontados foram de 08 de janeiro de 1997 e 12 de abril de 2008. Nessas datas, há a ocorrência de dois dos maiores pulsos de inundação registrados pela da estação fluviométrica Estação Ponte do Chumbo no período de 1992 a 2008.

Para efetuar o processamento, utilizou-se o software QGIS versão 3.22. O Quantum GIS (QGIS) é um sistema livre de informação geográfica (SIG) multiplataforma que suporta formatos vetoriais, raster, e de bases de dados (QGIS, 2023). Inicialmente, as imagens das bandas foram importadas para o software e foi constatado que necessitavam da etapa do georreferenciamento.

Não foram utilizadas todas as bandas que foram obtidas. A definição de quais seriam utilizadas para cada data partiu-se da experiência do trabalho de Rosa, Alves e Sanches (2011), e Silva *et al.* (2020). Então cada data resultou em 2 composições coloridas falsa cor: composição I: R7G4B3 e composição II: R5G4B3.

4.3. Processamento das imagens

Todos os processos para manipulação das bandas e obtenção dos mapas foram feitos no QGIS. Como a área de estudo do projeto está inserida em duas cenas, foi necessária a composição de mosaico. Após, foi feito o recorte das imagens, a fim de abarcarem somente a área de estudo. Posteriormente, procedeu-se ao georreferenciamento, etapa fundamental que torna as coordenadas de uma imagem ou mapa conhecidas dentro de um determinado sistema de referência, garantindo a confiabilidade da representação das imagens à área real. Essa etapa foi necessária pois percebeu-se que as imagens fornecidas pelo INPE não estavam com a acurácia compatível com as demais bases de dados utilizadas no projeto de pesquisa no qual este trabalho está incluído.

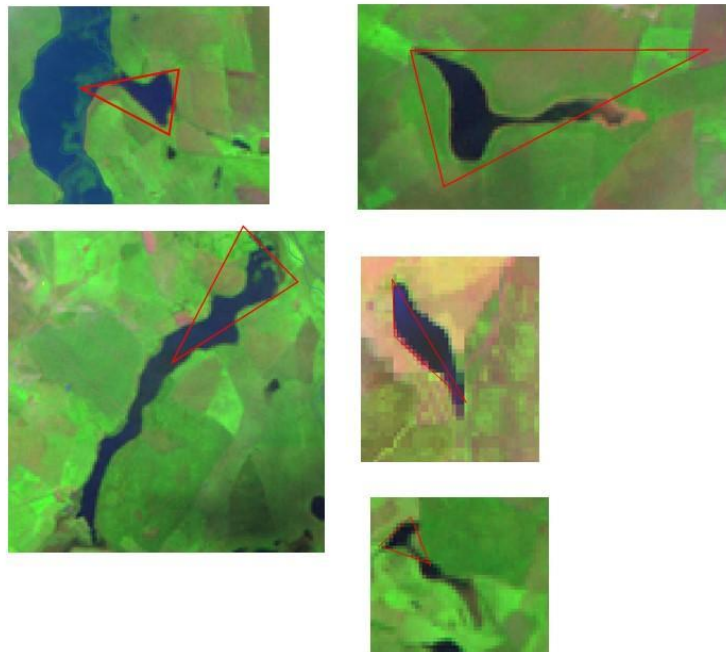
Os dados de referência para a etapa do georreferenciamento foram obtidos a partir do *plugin* Quick Map Services, recurso disponível no ambiente do *software* QGIS que fornece uma camada de dados raster proveniente do Google Earth possibilitando a captação das coordenadas geográficas a serem identificadas na imagem em processamento.

Posteriormente, seguiu-se com a etapa de poligonização das áreas identificadas como áreas úmidas, através da edição de camada com a geometria de polígono. Essa etapa consistiu em identificar manualmente as áreas úmidas na forma de lagoas marginais conectadas superficialmente com o canal do rio São Francisco.

Durante o processo, a imagem foi analisada em detalhes, e para tal, foi utilizado como critério para poligonização, o formato dessas feições e a conexão com o curso principal do rio. O primeiro critério foi necessário porque é possível observar feições triangulares e alongadas atribuídas a pequenas barragens artificiais e, portanto, não são alvo desta pesquisa (Figura 19).

O segundo critério estabelecido está relacionado ao pulso de inundação. As áreas úmidas que são alvo desta pesquisa, devem estar conectadas superficialmente ao canal do rio São Francisco, durante ou imediatamente após os pulsos de inundação. Por tanto, aquelas feições identificadas como áreas úmidas, mas que estavam muito desconectadas do curso principal do rio São Francisco, também não foram poligonizadas.

Figura 19 - Exemplos de feições identificadas como pequenas barragens



Nos exemplos, é possível observar que as feições possuem uma parte de contenção da água e um estreitamento no comprimento, semelhante a um triângulo. FONTE: Composição colorida RGB 743 elaborada pela autora da data de 08/01/1997.

Ao término deste processo, calculou-se a área do polígono utilizando o recurso na tabela de atributos chamado calculadora de campo. O objetivo dessa etapa foi obter a área e localização das áreas úmidas durante a inundação máxima registrada na área de estudo. Como última tarefa foram gerados mapas temáticos das lagoas marginais.

4.4. Interpretação das imagens

Com as composições coloridas para ambas as datas, procedeu-se à interpretação visual. De acordo com Novo (2008), a interpretação ou a análise visual é “o ato de examinar uma imagem com o propósito de identificar objetos e estabelecer julgamentos sobre suas propriedades”. Durante uma análise visual, simultaneamente ocorrem os processos de detecção, reconhecimento, análise, dedução, classificação e avaliação da precisão. Esses processos facilitam na diferenciação de feições como diferentes usos da terra e do solo, corpos d’água e áreas de vegetação, por exemplo. A análise visual, apoia-se em sete características da imagem, conforme o Quadro 4:

Quadro 4 - Elementos de fotointerpretação de imagens na metodologia de interpretação visual de dados

Características da imagem	Definição
Tonalidade e Cor	Representa o registro da radiação que foi refletida ou emitida pelos objetos da superfície. Tonalidades claras estão associadas a área de elevada radiância, emitância ou retroespalhamento em imagens de sensores ópticos, termais e ativos de micro-ondas, respectivamente. Tonalidades escuras indicam áreas de baixa radiância ou emitância em imagens ópticas ou termais, e áreas de sombra ou de reflexão especular em sensores ativos de micro-ondas. As cores mais claras e mais escuras e suas combinações são derivadas da combinação de tonalidade das bandas individuais.
Textura	A textura da imagem representa a frequência de mudanças tonais por unidade de área dentro de uma dada região. A textura da imagem depende da resolução espacial do sistema, do processo de imageamento, e da escala da imagem utilizada. O significado da textura também varia com o tipo de imagem utilizada.
Padrão	O padrão define o arranjo dos objetos espaciais na cena. O significado do padrão também depende do tipo de imagens analisadas, de sua escala e sua resolução espacial
Localização	A localização representa a posição relativa do objeto ou feição dentro da cena. Muitas vezes em imagens Landsat sensor TM, não se pode identificar diretamente o rio, mas pela localização da mata galeria, e levando em conta o conhecimento de que esta acompanha o curso do rio, este pode ser mapeado indiretamente.
Forma	Representa a configuração espacial do objeto. Essa forma pode ser observada em duas dimensões em imagens que não possuem o atributo de estereoscopia, ou três dimensões em imagens estereoscópicas.
Sombra	A sombra dos objetos pode ser utilizada como fonte de informação sobre limites de unidades geológicas, dimensões relativas de escarpas, árvores. O significado das sombras também é afetado pelo tipo de sensor utilizado, pela resolução espacial do sensor e pela escala da imagem.
Tamanho	O tamanho dos objetos é função da resolução do sistema e da escala das imagens. O tamanho do objeto pode ajudar em sua identificação.

Fonte: Curran *apud* Novo, 2008.

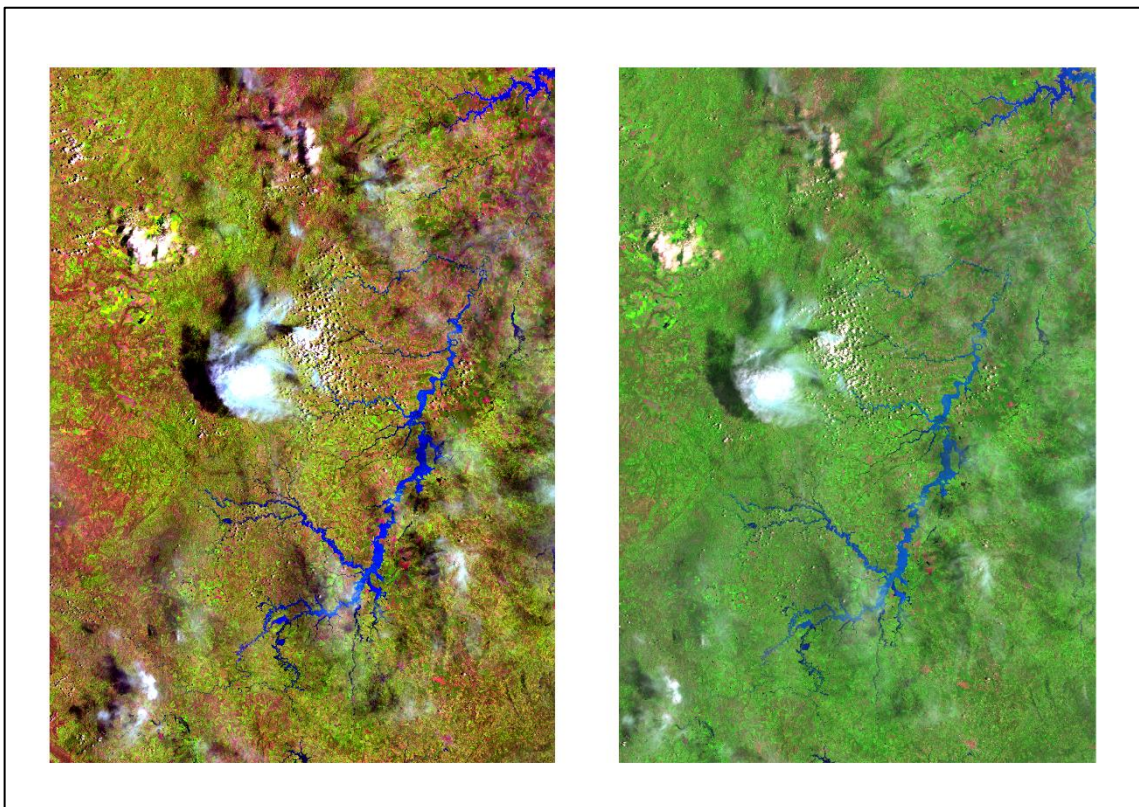
Dentre as características supracitadas, as mais importantes para identificação das áreas úmidas no presente estudo foram a tonalidade e cor, padrão e localização. A tonalidade e a cor ofereceram uma resposta fácil e rápida na identificação dos corpos d'água, principalmente referente às áreas úmidas. O padrão e a localização indicaram quais áreas úmidas estavam conectadas ao curso principal do rio São Francisco, que são as áreas de interesse, possibilitando uma distinção das demais áreas.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Testagem de composições coloridas falsa cor

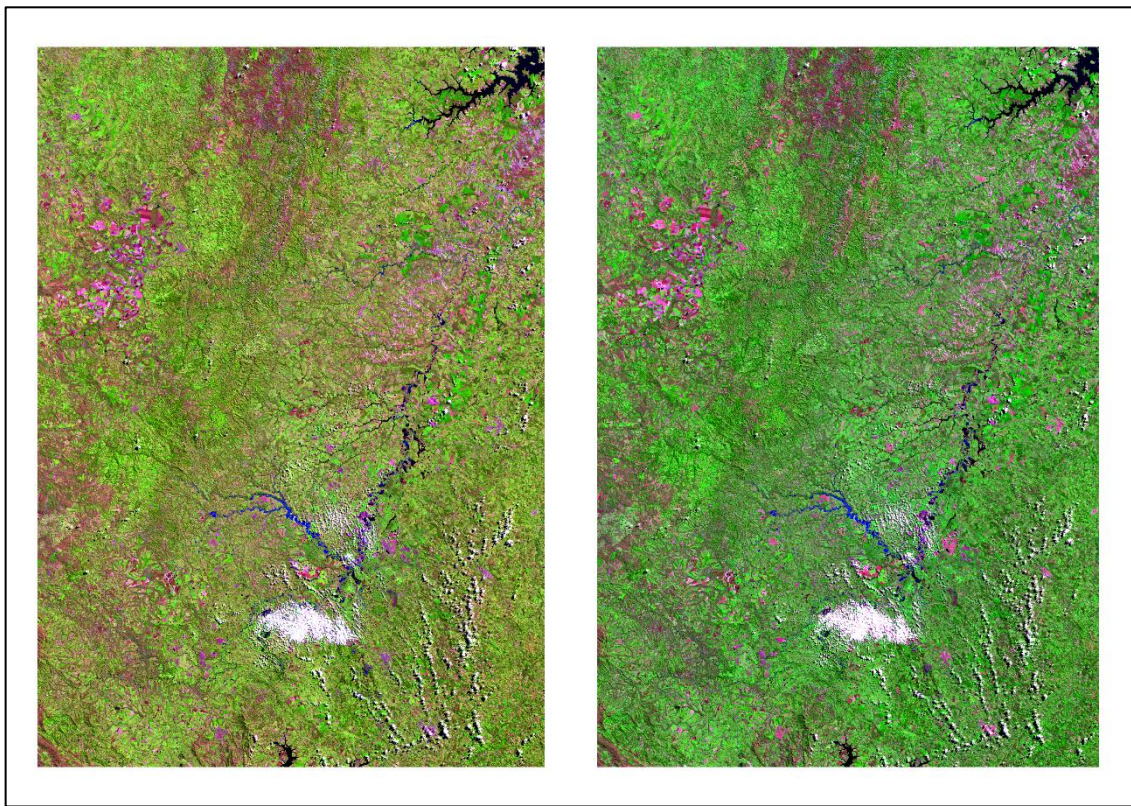
A testagem mostrou que as composições R5G4B3 e R7G4B3 evidenciam as áreas úmidas, conforme Silva *et al.* 2020. Tomando as características das imagens obtidas, tanto na composição colorida RGB543, quanto RGB743, através do processo de análise visual, é possível dizer que ambas atenderam bem ao propósito, que seria diferenciar e evidenciar as áreas úmidas em relação a seu entorno. Destas, a que melhor atendeu às expectativas foi a composição R5G4B3 por apresentar também uma melhor diferenciação do uso da terra e das fitofisionomias que se apresentam na imagem – Figuras 20 e 21.

Figura 20 - Comparação composição colorida das imagens de 08/01/1997, Satélite Landsat, sensor TM



À direita, composição RGB 543, e à esquerda, RGB 743. Elaborado pela autora.

Figura 21 - Comparação composição colorida das imagens de 12/04/2008, Satélite Landsat, sensor TM



À direita, composição RGB 543, e à esquerda, RGB743. Elaborado pela autora.

5.2. Mapeamento das áreas úmidas

O Quadro 5 apresenta os resultados obtidos na poligonização em relação ao número de feições e área que as áreas úmidas ocuparam durante os pulsos de inundação.

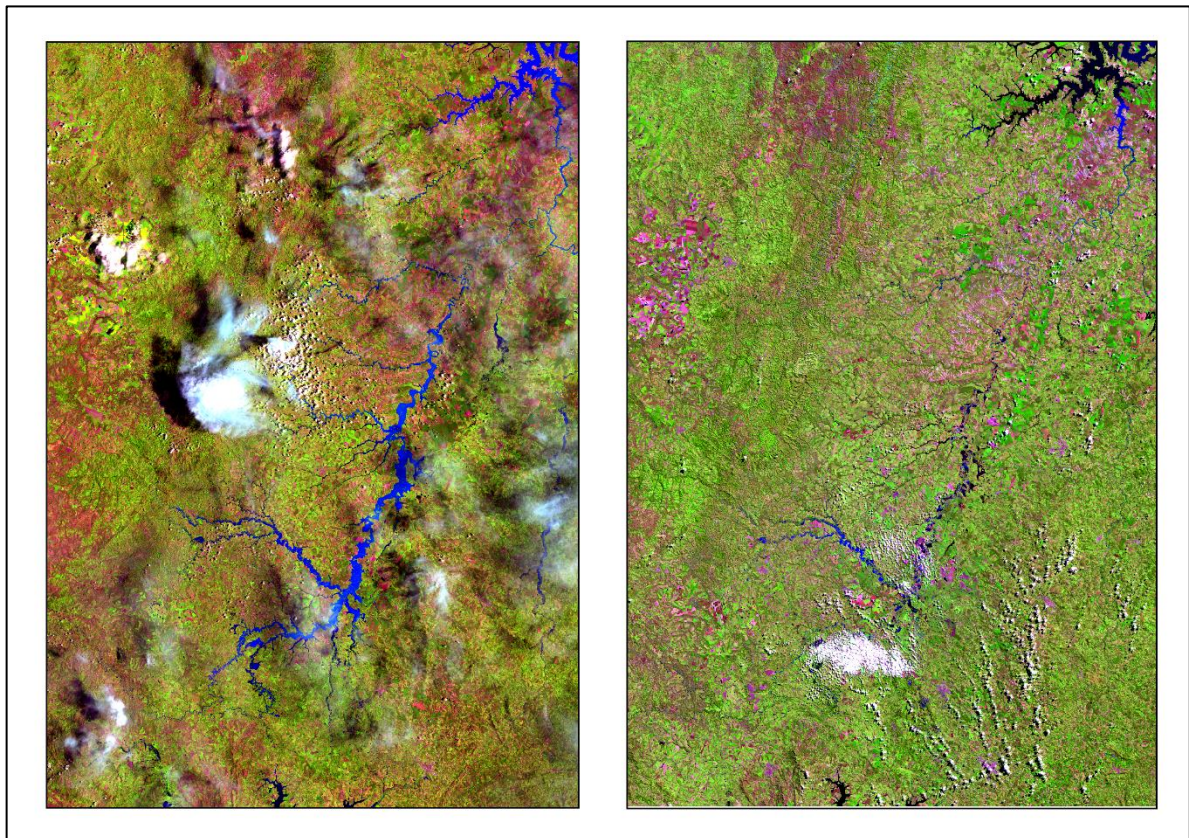
Quadro 5 - Quantidade e extensão áreas úmidas

	08/01/1997	12/04/2008
Quantidade de áreas úmidas (aprox.)	80 feições	209 feições
Extensão total em km² (aprox.)	584.88 km ²	176.24 km ²

A imagem de 08 de janeiro de 1997 registrou um número menor de feições, porém com maior área em relação à 12 de abril de 2008. Mesmo sem a poligonização em ambas composições coloridas, é possível perceber a diferença na área ocupada pelas áreas úmidas entre as duas datas, conforme podemos verificar na figura 21. Os processos para destacá-las deixa isso mais evidente, conforme podemos confirmar nas imagens 22 a 25.

A primeira área apresentou um número menor de feições identificadas como áreas úmidas e a justificativa está na intensidade do pulso de inundação, que indica ser maior do que a segunda data, inundando uma área muito maior e que possibilitou uma junção de áreas úmidas resultando em um menor quantitativo e maior área espacial.

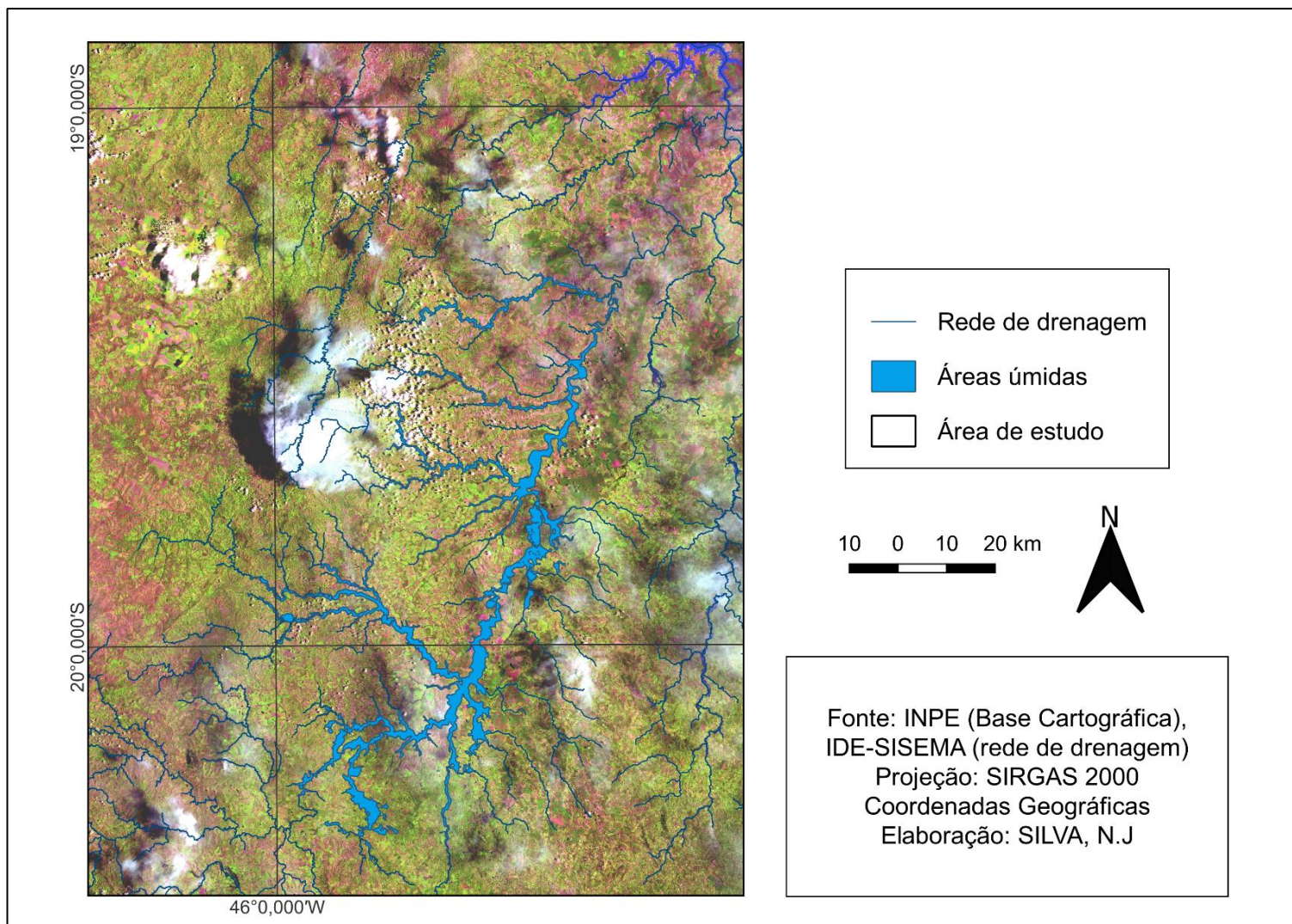
Figura 22 - Comparação das imagens de 08/01/1997 e 12/04/2008 na composição RGB543 – Satélite Landsat, sensor TM



À direita, imagem de 08/01/1997, e à esquerda, imagem de 12/04/2008.

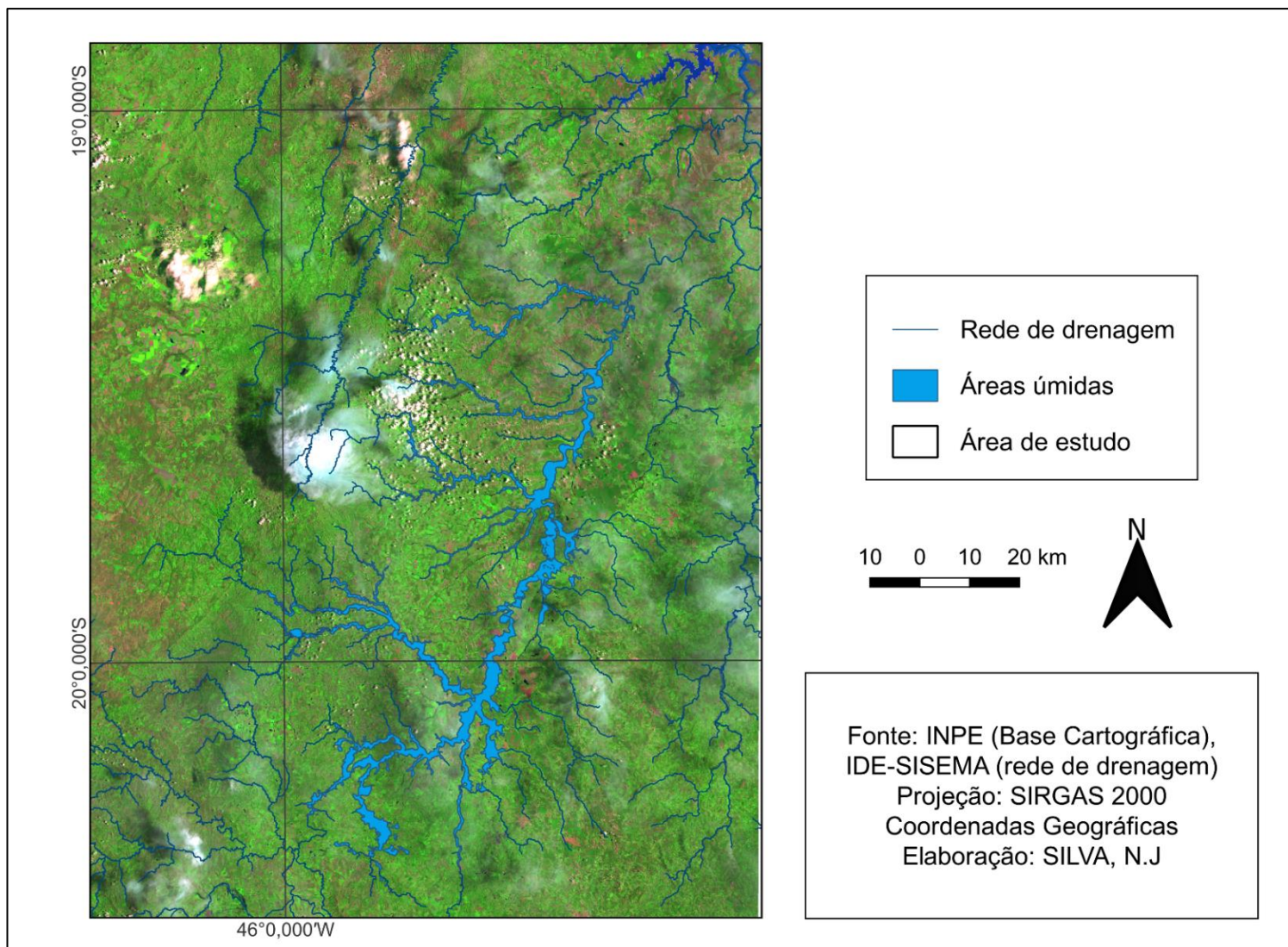
Fonte: INPE. Elaborado pela autora.

Figura 23 - Imagem 08/01/1997, Composição RGB543



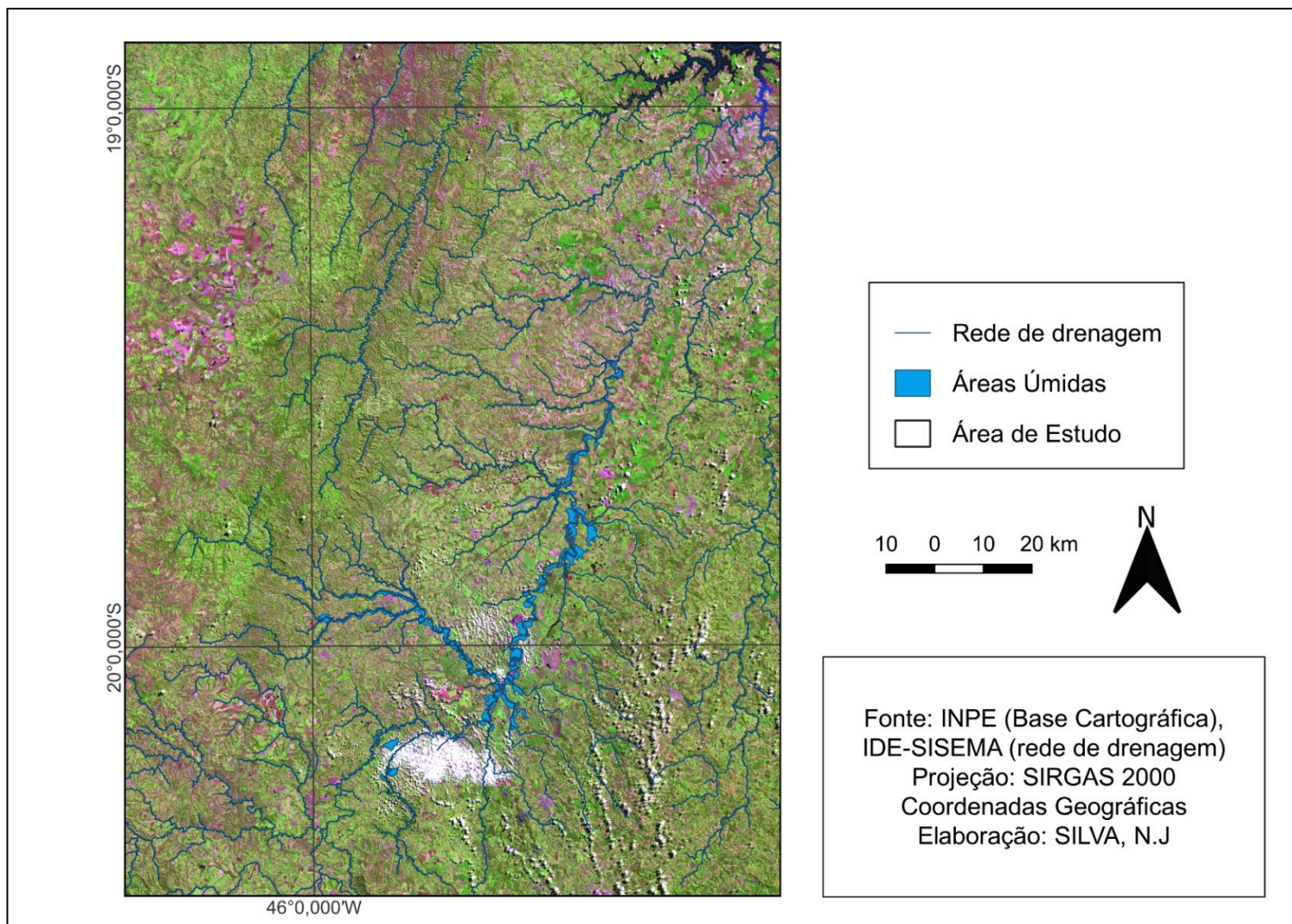
FONTE: INPE (Base cartográfica); IDE- SISEMA (rede de drenagem). Elaboração: a autora

Figura 24 - Imagem 08/01/1997, Composição RGB743



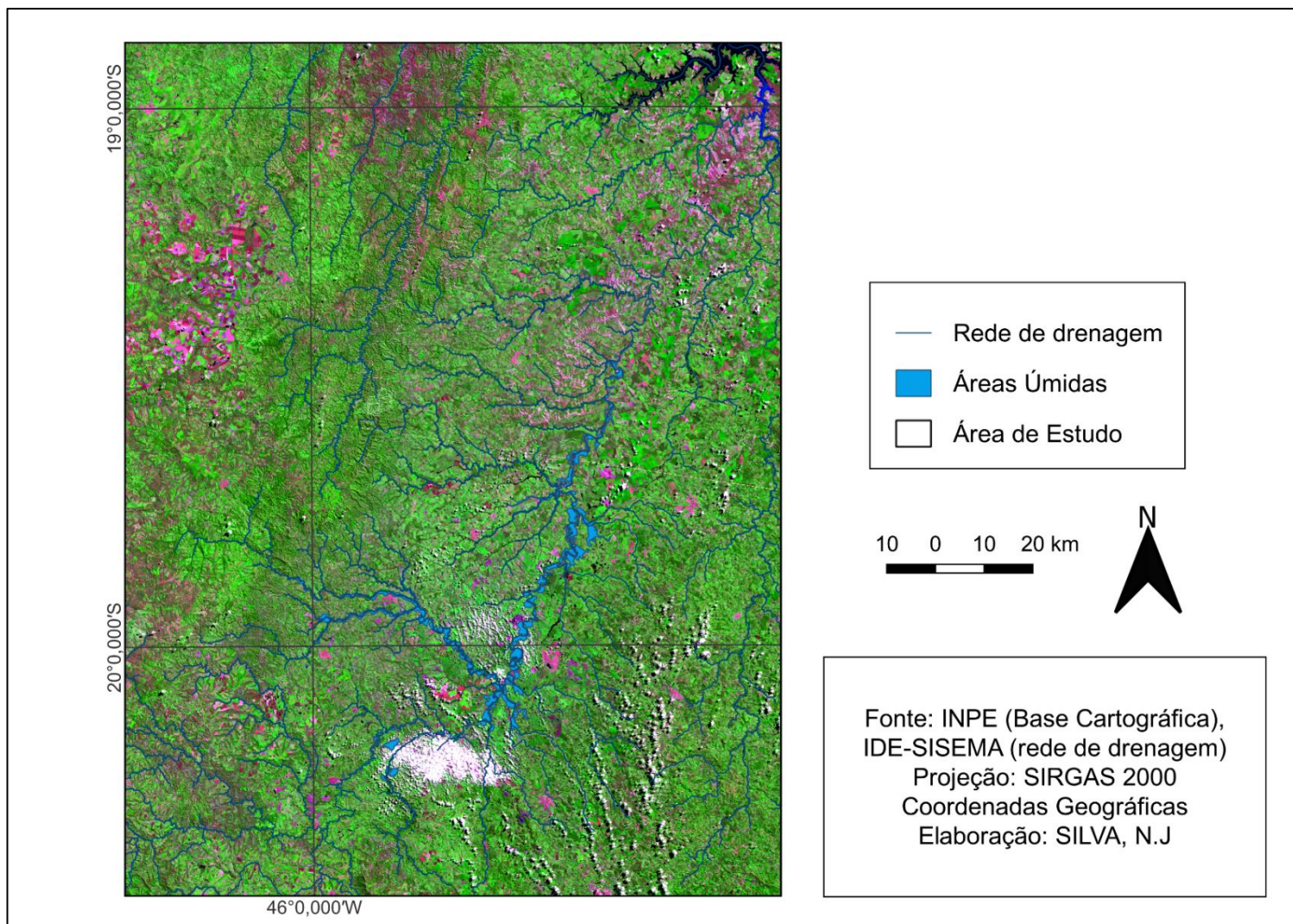
FONTE: INPE (Base cartográfica); IDE- SISEMA (rede de drenagem). Elaboração: a autora

Figura 25 - Imagem 12/04/2008, Composição RGB543



FONTE: INPE (Base cartográfica); IDE- SISEMA (rede de drenagem). Elaboração: a autora

Figura 26 - Imagem 12/04/2008, Composição RGB743

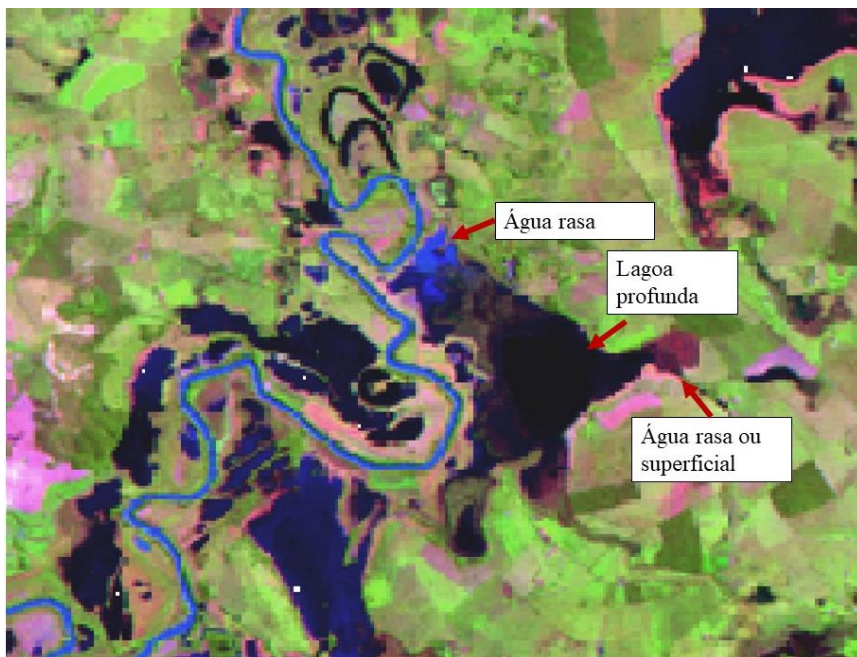


FONTE: INPE (Base cartográfica); IDE- SISEMA (rede de drenagem). Elaboração: a autora

5.3. Resposta espectral da água

Nas imagens analisadas identificaram-se como áreas úmidas várias feições com várias tonalidades em azul. Nesta pesquisa, como não foi realizada a etapa de validação do campo envolvendo a coleta de amostras de água, ou testes com a água dessas áreas úmidas durante o período de inundação, não se pode afirmar que as diferentes tonalidades em azul são decorrentes de concentrações de sedimentos ou de matéria orgânica.

Figura 27 - Exemplo de resposta espectral da água

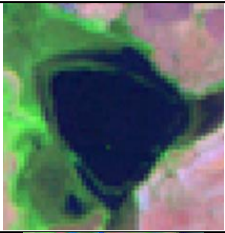
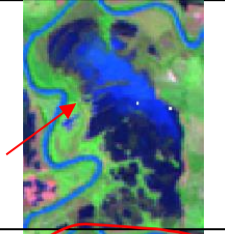
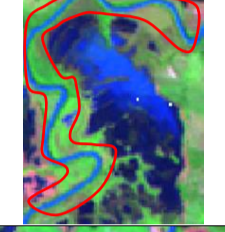
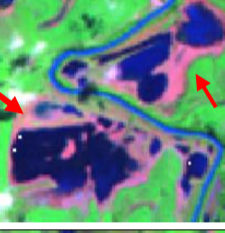

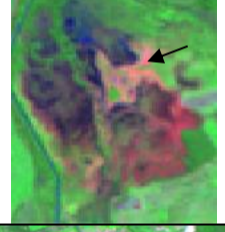
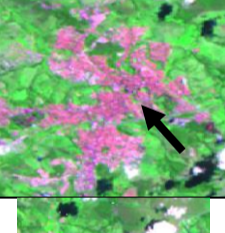
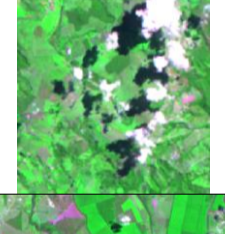





Composição colorida RGB 43 de 12/04/2008. Fonte: INPE (Base Cartográfica).
Fonte: Elaborado pela autora.

5.4. Chave de fotointerpretação

Através da análise visual, foi possível elaborar uma chave de fotointerpretação para nomear e identificar as feições apresentadas nas imagens de satélite, conforme quadro 6. A elaboração da chave de fotointerpretação facilita a leitura das imagens, fornecendo referências entre as diferentes feições da superfície.

Quadro 6 - Chave de fotointerpretação

IMAGEM	FEIÇÃO	DESCRIÇÃO
	Área úmida–Lagoa marginal	Cor azul marinho
	Área úmida–Lagoa marginal próxima ao curso principal do rio São Francisco	Cor azul claro a azul marinho (variação de tons de azul podem indicar variações na profundidade da água); textura lisa, forma irregular.
	Canal do rio São Francisco	Tons de azul, sedimentos em suspensão (OLIVEIRA, 2019), textura lisa, forma retilínea ou curvilínea.
	Solo exposto ou água pouco profunda anexa à área úmida	Cor rosa, textura lisa, formato irregular – solo exposto ou com água superficial.
	Meandros abandonados	Tons azulados, textura lisa, formato curvilíneo.
	Área úmida com água pouco profunda ou solo exposto	Cor: tonalidades de vermelho, marrom, rosa que podem indicar água pouco profunda ou solo exposto encharcado) e azul que pode indicar água com sedimentos, textura lisa, formato irregular.
	Mancha urbana	Tonalidades de roxo e rosa, textura ligeiramente rugosa, forma irregular.
	Nuvens e sombras	Tons escuros (sombra) e branco (nuvens), textura lisa, formato irregular.
	Área de agricultura alternada com pastagens	Tons de verde (pastagem e cultivo), rosa e roxo (solo exposto), padrão regular e sistemático, textura lisa a ligeiramente rugosa, formatos regulares.
	Área de agricultura	Tons de verde (cultura em desenvolvimento) e rosa (solo exposto devido a cultivo recente ou encerramento temporário de cultura), padrão circular, textura lisa a ligeiramente rugosa, formatos regulares.
	Estradas	Tons de roxo, textura lisa, formato retilíneo ou curvilíneo.

Fonte: Composição colorida RGB 743 de 12/04/2008.
Elaborado pela autora.

6. CONCLUSÕES

Como o objetivo principal desta pesquisa foi identificar e mapear áreas úmidas na forma de lagoas marginais durante os principais pulsos de inundação que ocorreram no alto curso do rio São Francisco, a escolha de processos e ferramentas adequadas foi essencial. Após o processamento das imagens, determinou-se que a composição RGB543 fornecia maiores informações em relação a área de estudo pois era possível diferenciar ao longo da imagem, as áreas inundadas e drenadas além dos diferentes usos da terra e das fitofisionomias do entorno. Já em comparação com a composição RGB743, ambas deram o mesmo destaque às áreas úmidas e o curso do rio.

Outro resultado a ser destacado se refere a intensidade dos pulsos de inundação. A partir dos resultados obtidos durante a pesquisa, entende-se que o dia 08/01/1997 foi o dia da maior cota do rio registrada por sensoriamento remoto entre os anos de 1992 a 2008. Esta informação deve ser utilizada para contribuir com dados atuais e análises temporais para a delimitação da área máxima a ser ocupada pelas áreas úmidas na forma de lagoas marginais.

A quantidade de feições identificadas como áreas úmidas e a extensão total que ocupam, dados estes que foram obtidos pelo processamento das imagens, é outro fato a ser destacado. A extensão de 584,88 km², ocupada pelas áreas úmidas em 08/01/1997, corroborando a informação de que é possível utilizar esse valor como uma referência da máxima extensão das lagoas marginais conectadas ao curso principal do rio São Francisco. A extensão total de ambas as datas, também demonstram que nessas datas, as áreas úmidas são um potencial hídrico cuja relevância é pouco divulgada e que carecem de aparatos legais e ações concretas para proteção e reconhecimento dessas áreas.

É relevante, a partir deste mapeamento, produzir levantamentos de campo de tais áreas úmidas. Sugere-se estudos que envolvam a temática do uso da terra do entorno e como afetam essas áreas úmidas inseridas no alto curso do rio São Francisco, incluindo o uso sustentável e a preservação de suas funções. Também sugere-se a comparação de tais imagens com imagens atuais que demonstrem a influência de pulsos de inundação de aproximada ou igual intensidade sobre as áreas estudadas nesse trabalho.

REFERÊNCIAS

AARÃO, G. M., OLIVEIRA, D. A. de, SILVA, N.J., ARAÚJO, R.R.S; **Ocorrência de pulsos de inundação no alto curso do rio São Francisco: Análise do nível do rio de 1977 a 2015**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia – IFMG campus Ouro Preto. Ouro Preto, Minas Gerais, 2020.

ALHO, C.J.R; SABINO, José. **Seasonal Pantanal Flood Pulse: Implications For Biodiversity Conservation**. *Oecologia Australis*, vol. 16, nº 4, p. 958-978, dezembro, 2012. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/oa/article/view/8249>. Acesso em: 29 de maio de 2023.

AQUINO, C. M. S.; VALLADARES, G.S. **Geografia, Geotecnologias e Planejamento Ambiental**. *Geografia*, v. 22, n.1, p. 117-138, janeiro/abril, 2013

ARAÚJO, R.R. de S.; OLIVEIRA, D. A. de; RIBEIRO, E. V. **Análise Geomorfológica Da Ocorrência De Lagoas Marginais No Alto Curso Do Rio São Francisco**. *Caderno de Geografia*, vol. 32, nº 71, p.1292-1316, outubro, 2022.

BARBOSA, C.C.F.; NOVO, E.M.L.M.; MARTINS, V.S. **Introdução ao Sensoriamento Remoto de Sistemas Aquáticos: princípios e aplicações**. 1ª edição. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos. 161p. 2019.

BARROS, R. R.; **Fragilidades na proteção de Nascentes e Áreas Úmidas nos Mares de Morros: Complexidade Hidrogeomorfológica e Limitações Legais**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, Minas Gerais, 2022

BRASIL. Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. **Resumo Executivo do Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco 2016-2025**. Alagoas, 2016

BRASIL. **Decreto nº 1.905, de 16 de maio de 1996**. Promulga a Convenção sobre Zonas Úmidas de Importância Internacional, especialmente como Habitat de Aves Aquáticas, conhecida como Convenção de Ramsar, de 02 de fevereiro de 1971. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1996/d1905.htm#:~:text=Promulga%20a%20Conven%C3%A7%C3%A3o%20sobre%20Zonas,02%20de%20fevereiro%20de%201971>. Acesso: 15 fev.2021

BRASIL. **Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências**. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Áreas de Preservação Permanente Urbanas**. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/areas-verdes-urbanas/%C3%A1reas-de-prote%C3%A7%C3%A3o-permanente.html>. Acesso: 01 de ago. 2023

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. A Convenção de Ramsar. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/ecossistemas-1/areas-umidas/a-convencao-de-ramsar-1>. Acesso: 15 de fev. 2021

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. **Caderno da Região Hidrográfica do Rio São Francisco**. Brasília, 2006

BRASIL. **Sítios Ramsar**. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/ecossistemas-1/areas-umidas/sitios-ramsar-brasileiros>. Acesso: 01/10/2023

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO. **A Bacia**. Disponível em: <https://cbhsaofrancisco.org.br/a-bacia/>. Acesso em 15 fev. 2021

CURRAN, P.J., 1985 in NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. 3 ed. São Paulo: Blucher, 2008.

EMBRAPA. **Satélites de monitoramento**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/landsat>. Acesso: 04 de abril de 2023

FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY. The natural and beneficial functions of floodplains reducing flood losses by protecting and restoring the floodplain environment: a report for Congress. E-book. Washington D.C, junho de 2002. Disponível em: <https://play.google.com/books/reader?id=5wLbAAAAMAAJ&pg=GBS.PP6&hl=en>. Acesso em 21 fev. 2021.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento remoto**. 3. Ed. Oficina de textos, 2011. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=18GkH5X81XcC&oi=fnd&pg=PT6&dq=related:QkkhXa0no-oJ:scholar.google.com/&ots=yIRnkMVX2R&sig=3Rirdlgam7Bs6gIECBoH6-h2fGs#v=onepage&q&f=false>

GARDNER, R.C., BARCHIESI, S., BELTRAME, C., FINLAYSON, C.M., GALEWSKI, T., HARRISON, I., PAGANINI, M., PERENNOU, C., PRITCHARD, D.E., ROSENQVIST, A., and WALPOLE, M. **State of the World's Wetlands and their Services to People: A compilation of recent analyses. Ramsar Briefing Note no. 7**. Gland, Switzerland: Ramsar Convention Secretariat. 2015. Disponível em: <https://www.ramsar.org/resources/the-briefing-notes>. Acesso em 21 fev. 2021

GODINHO, H. P.; GODINHO, A. L. (org.). **Águas, peixes e pescadores do São Francisco das Minas Gerais**. Belo Horizonte: Puc Minas, 2003. 468 p. Disponível em: <http://www.sfrancisco.bio.br/arquivos/GodinhoH001.pdf>. Acesso em 21 fev. 2021

GOMES, C. S.; **Bases Teórico-Conceituais e Subsídios para a Classificação Hidrogeomorfológica das Áreas Úmidas em Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-graduação em Geografia do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.

GUASSELLI, L. A.; SIMIONI, J. P. D. **Conceituação de Áreas Úmidas**; Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul, "Banhados: Abordagem Conceitual". Porto Alegre, n. 30, p. 33-47, set. 2017

GUERRA, A. T. **Dicionário Geológico-Geomorfológico**. IBGE, 1993. 443p. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/biblioteca-catalogo?id=223450&view=detalhes>, Acesso em 15 de fev. 2021

HU S.; NIU, Z.; CHEN, Y.; LI, L.; ZHANG, H. **Global wetlands: Potential distribution, wetland loss, and status**. *Science of the Total Environment*, v. 586, p. 319–327, 2017.

INAU. **Definição e Classificação das Áreas Úmidas (AUs) Brasileiras: Base Científica para uma Nova Política de Proteção e Manejo Sustentável**. Disponível em: <<http://www.inau.org.br/homepage.php>>. Acesso em: 16 fev. 2021

INPE. **Satélite Landsat**. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/documentacao/satelites/landsat>. Acesso em: 4 fev. 2020.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese, 2009

JUNK, W. J., PIEDADE, M. T. F., SCHÖNGART, J., COHN-HAFT, M., ADENEY, J. M., WITTMANN, F. **A classification of major naturally-occurring Amazonian lowland wetlands**. *Wetlands*, v. 31, n. 4, p. 623-640, 2011.

JUNK, W.; BAYLEY, P. B.; SPARKS, R. E. **The flood pulse concept in River-floodplains System**. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, n. 106, p. 110-127, 1989

JUNK, W. J., Piedade, M. T. F., Lourival, R., Wittmann, F., Kandus, P., Lacerda, L. D., Camargo, E. **Definição e classificação das Áreas Úmidas (AUs) brasileiras: base científica para uma nova política de proteção e manejo sustentável**. Classificação e delineamento das Áreas Úmidas Brasileiras e de seus macrohabitats. Cuiabá, 2014, INCT-INAU-EdUFMT, 13-76.

MARTINS, T. I. S. **Mapeamento geomorfológico da filha Piumhi, Minas Gerais**. 2013. 157 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystems and human well-being: wetlands and water synthesis**. Washington, 2005. Disponível em: <<https://www.millenniumassessment.org/documents/document.358.aspx.pdf>>. Acesso em: 12 de Fev. 2021

MINAS GERAIS. **LEI nº 20.922, de 16/10/2013** Dispõe sobre as políticas florestal e de proteção à biodiversidade no Estado. Disponível em: <https://www.almg.gov.br/atividade-parlamentar/leis/legislacao-mineira/lei/min/?tipo=LEI&num=20922&ano=2013&comp=&cons=0>. Acesso em: 01/10/2023

MITSCH, W. J.; GOSSSELINK, J. G. **Wetlands**. 4. ed.: John Wiley & Sons, 2007.

MENESES, P. R; ALMEIDA, T. de. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

MENESES, P. R. **Sensoriamento remoto: reflectância dos alvos naturais**. Ed. UnB, 2001, 262 p

MINAS GERAIS. Secretaria de Minas e Energia. **Projeto São Francisco: Província mineral Bambuí (MG)**. Belo Horizonte, 1999.

MORAES, E. C. de. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto**. 1. ed. São José dos Campos: INPE, 2002.

MORAIS, E. C. **Sistemas sensores**, in MAIO, A. DI; RUDORFF, B. F. T; MORAES, E. C; PEREIRA, G; MOREIRA, M. A; SAUSEN, T. M; FLOREZANO, T. G. Sensoriamento Remoto. 1a ed. Brasília, 2008

MOREIRA, M.A. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto e metodologias de Aplicação**. São José dos Campos, 2001. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2001, 208p.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. 3 ed. São Paulo: Blucher, 2008.

NOVO, E. M. L. M.; PONZONI, F. J. **Introdução do sensoriamento remoto**. São José dos Campos: [INPE], 2001.

OLIVEIRA, D. A. de. **Wetland como unidade hidrogeomorfológica na transição entre o cerrado e o semiárido mineiro: análise da dinâmica do pantanal da bacia de drenagem do rio pandeiros - MG**. 2019. 344 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

OLIVEIRA, M. Z.; VERONEZ, M. R.; THUM, A. B.; REINHARDT, A. O.; BARETTA, L.; VALLES, T. H. A.; ZARDO, D.; SILVEIRA, L. K. **Delimitação de Áreas de Preservação Permanente: Um estudo de caso através de imagem de satélite de alta resolução associada a um sistema de informação geográfica (SIG)**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., 2007, Florianópolis. Anais...São José dos Campos: Inpe, 2007. p. 4119-4128.

QGIS. **Definição**. Disponível em <https://www.qgis.org/en/site/about/index.html>. Acesso: 01/10/2023

RAMSAR CONVENTION ON *WETLANDS*. **Global Wetland Outlook: State of the World's Wetlands and their Services to People**. Switzerland: 2018. Disponível em: <https://www.ramsar.org/sites/default/files/flipbooks/ramsar_gwo_english_web.pdf>.

REBOITA, M. S. **Aspectos Climáticos do Estado De Minas Gerais**. Revista Brasileira de Climatologia, [S.L.], v. 17, n. 1, p. 206-226, dez. 2015.

RESENDE, E. K. de. **Os Controles Geológicos e os Pulsos de Inundação no Pantanal**. Disponível em:

https://ambientes.ambientebrasil.com.br/natural/artigos/os_controles_geologicos_e_os_pulsos_de_inundacao_no_pantanal.html, Acesso em: 22 de maio de 2023

RIBEIRO, E. S.; RAAD, S. M.; NASCIMENTO, R. S. C.; REIS, N. S.; FARO, B. L. S. O.; CARNEIRO, F. S.; SANTOS, J. C. **Análise da distribuição espacial da cobertura vegetal no município de Santa Barbara/PA**. Natural Resources, v.10, n.3, p.8-14, 2020.

ROSA, L.; ALVES, M. C.; SANCHES, L. **Uso de composições de bandas do satélite Landsat 5 TM para caracterizar a dinâmica da variação de áreas alagadas do Pantanal mato-grossense**. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR.

Anais...2011. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p1189.pdf>>. Acesso em: 12 de Fev. 2021

SAUSEN, T. M ; **Sensoriamento Remoto E Suas Aplicações Para Recursos Naturais**. Disponível em:<http://www3.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/apostila.htm>; Acesso: 10 de maio de 2023

SISEMA. IDE-Sisema: Infraestrutura de dados espaciais do sistema estadual de meio ambiente e recursos hídricos. Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Disponível em: <http://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/>. Acesso em: 20 maio 2021

SCHEREN, R. S. **Urbanização na Planície de Inundação do Rio Gravataí- RS**. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2014.

SILVA, N.J, ARAÚJO, R.R.S, OLIVEIRA, D. A. de, AARÃO, G. M. Composições de bandas do satélite Landsat 5, Sensor Tm, para identificação de áreas úmidas do alto curso do Rio São Francisco. In: III Simpósio da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. Anais...Belo Horizonte (MG) Online, 2020. Disponível em: <<https://www.even3.com.br/anais/IIISBHSF/291138-COMPOSICOES-DE-BANDAS-DO-SATELITE-LANDSAT-5-SENSOR-TM-PARA-IDENTIFICACAO-DE-AREAS-UMIDAS-DO-ALTO-CURSO-DO-RIO-S>>. Acesso em: 07/03/2021

TRIBUNAL DE JUSTIÇA DO DISTRITO FEDERAL E DOS TERRITÓRIOS. **Área de Preservação Permanente**. Disponível em: <https://www.tjdft.jus.br/institucional/imprensa/campanhas-e-produtos/direito-facil/educacao-semanal/area-de-preservacao-permanente>. Acesso: 01 de ago. 2023

TRINDADE, W. M. (2016). **Lagoas marginais do alto-médio curso do rio São Francisco: Dinâmica hidrogeomorfológica, geocronologia e impactos ambientais**. 2016. 144 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

ZEDLER, J. B.; KERCHER, S. Wetland resources: Status, trends, ecosystem services, and restorability. Annual Review of Environment and Resources. Volume 30:39-74. 2005. Disponível em: <www.annualreviews.org>. Acesso em 21 fev. 2021.