UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO PAULO

CAMPUS DIADEMA

ANA LUIZA FARIA DE SOUZA

IMPACTOS ANTROPOGÊNICOS NA DINÂMICA SEDIMENTAR E MORFOLOGIA DO CANAL DO RIO SÃO LOURENÇO, PANTANAL DE MATO GROSSO

DIADEMA

2023

ANA LUIZA FARIA DE SOUZA

IMPACTOS ANTROPOGÊNICOS NA DINÂMICA SEDIMENTAR E MORFOLOGIA DO CANAL DO RIO SÃO LOURENÇO, PANTANAL DE MATO GROSSO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para obtenção do título de Bacharel em Ciências Ambientais, ao Instituto de Ciências Ambientais, Químicas e Farmacêuticas da Universidade Federal de São Paulo – Campus Diadema.

Orientador: Prof. Dr. Fabiano do Nascimento Pupim

Coorientadora: Ma. Stefania Cristino de Oliveira

DIADEMA

2023

Dados Internacionais da Catalogação na Publicação (CIP)

Souza, Ana Luiza Faria de
Impactos antropogênicos na dinâmica sedimentar e morfologia do canal do rio São Lourenço, pantanal de Mato Grosso / Ana Luiza Faria de Souza. – – Diadema, 2023.
38 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Ambientais) - Universidade Federal de São Paulo - Campus Diadema, 2023.

Orientador: Fabiano do Nascimento Pupim
Coorientadora: Stefania Cristino de Oliveira

1. Impacto antropogênico. 2. Sistemas fluviais. 3. Série Landsat. 4. Pantanal. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do Instituto de Ciências Ambientais, Químicas e Farmacêuticas, Campus Diadema da Universidade Federal de São Paulo, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Ana Luiza Faria de Souza

Impactos antropogênicos na dinâmica sedimentar e morfologia do canal do rio São Lourenço, pantanal de Mato Grosso

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para obtenção do título de Bacharel em Ciências Ambientais, ao Instituto de Ciências Ambientais, Químicas e Farmacêuticas da Universidade Federal de São Paulo – campus Diadema.

Orientador: Prof. Dr. Fabiano do Nascimento Pupim

Coorientadora: Ma. Stefania Cristino de Oliveira

Data da defesa: 09/01/2023

Membros componentes da banca examinadora

_____

Dr. Adilson Viana Soares Jr. (Unifesp)

_____

Dra. Fernanda Costa Gonçalves Rodrigues (EACH-USP)

RESUMO

O rápido e desordenado crescimento das atividades agrícolas na região Centro-Oeste do Brasil a partir da década de 1970 geraram mudanças significativas no uso da terra, devido o desmatamento para implantação de pastos e monoculturas, o que torna o solo mais suscetível aos processos erosivos. Ainda, houve a necessidade da implantação de usinas hidrelétricas para garantir o abastecimento dos novos centros urbanos e o complexo agroindustrial, acarretando alterações diretas na dinâmica dos rios. A região dos planaltos da bacia do rio São Lourenço, no sudeste do estado do Mato Grosso, foi uma das mais impactadas por esse avanço do sistema produtivo, com indícios de alterações ambientais significativas como o assoreamento dos canais, distúrbios na frequência de inundações e perda de biodiversidade. Em virtude disso, para compreender as condições vigentes da dinâmica fluvial e melhorar as previsões de como as atividades antropogênicas afetam os sistemas fluviais, essa pesquisa tem como objetivo avaliar as alterações na morfologia do canal e no aporte de sedimentos decorrentes da mudança no uso da terra e implantação de hidrelétricas na bacia hidrográfica do rio São Lourenço (MT). Para isso, foi utilizada uma série temporal de imagens da coleção Landsat, com amostras anuais de 1985 a 2020, para quantificar as variações na taxa de migração do canal, largura e número de barras fluviais de um trecho de 100 km ao longo do médio curso rio São Lourenço. Os resultados obtidos indicam que não houveram mudanças significativas na largura e taxa de migração do canal, somente alterações evidentes no número e na área em planta das barras fluviais, sendo que essas mudanças possuem relação direta com as alterações no uso do solo e instalações de pequenas centrais hidrelétricas na bacia. Esses resultados poderão auxiliar no desenvolvimento de políticas públicas ambientais e de gestão do uso solo com o intuito de desenvolver um manejo sustentável da bacia hidrográfica do rio São Lourenço, o segundo maior rio que drena o Pantanal.

Palavras-chave: Impacto antropogênico; Sistemas fluviais; Série Landsat; Pantanal.

ABSTRACT

The quick and disorderly growth of agricultural activities in the Brazil's Centro-Oeste from the 1970s onwards led to an intense change in land use, due to the implantation of pastures and monocultures, which cause the deforestation of native vegetation and make the soil even more susceptible to erosive processes. There was a need to implement hydroelectric plants to guarantee the supply of new urban centers and agro-industrial complexes, causing straight changes in the river's dynamics. The São Lourenço River watershed, Mato Grosso's state, was one of the most impacted by these productive advances, with signs of significant changes such as siltation of the channel, more frequent flooding and loss of biodiversity. Due to the fact, to understand the current conditions of fluvial dynamics and improve predictions of how anthropogenic activities affect river systems, this project aims to assess changes in channel´s morphology and sediment input into the watershed resulting from change in use of land and installation of hydroelectric plants in São Lourenço River watershed (Mato Grosso). A temporal series of images from the Landsat collection, from 1985 to 2020 will be used to quantify the variations in channel migration, width and number of river bars in a 100 km stretch along the middle course of the São Lourenço River. Afterwards, it is expected that the results obtained make it possible to determine if there were significant changes in the morphology and sedimentology of the São Lourenço channel and whether such changes are related to anthropogenic changes in the drainage watershed. The results obtained indicate that there were no significant changes in the width and migration rate of the channel, only evident changes in the number and area of the river bars. These changes are directly related to anthropogenic changes in the drainage basin, mainly changes in the use of the soil, and installations of small hydroelectric plants in the basin.These results may help in the development of public policies for environmental conservation and land use management in order to develop sustainable management of the São Lourenço river basin, the second largest river that drains the Pantanal.

Keywords: Anthropogenic impact; River systems; Landsat series; Pantanal.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Localização da área a ser estudada.....13

Figura 2 – Médias mensais da vazão entre 1985 a 2020 na estação Acima do Córrego Grande.....14

Figura 3 – Mapa litológico da Bacia do rio São Lourenço.....15

Figura 4 – Mapa hipsométrico da Bacia do rio São Lourenço.....16

Figura 5 – Mapa de uso de cobertura da terra da Bacia do rio São Lourenço para os anos de 1985 e 2020.....17

Figura 6 – Variação no uso antrópico na Bacia do rio São Lourenço entre 1985 a 2020.....22

Figura 7 – Evolução do uso antrópico na Bacia Hidrográfica do rio São Lourenço entre 1985 a 2020 com indicação das PCHs e CGHs presentes dentro da bacia.....23

Figura 8 – **Série temporal de parâmetros morfológicos de canal no médio rio São Lourenço (MT)**. **A)** Taxa de migração média do rio São Lourenço entre 1985 a 2020. **B)** Largura média em metros do rio São Lourenço entre 1985 a 2020.....24

Figura 9 – Largura e taxa de sinuosidade por trecho durante a série histórica no rio São Lourenço (MT). **A)** Largura em metros dos trechos de 10 km do rio São Lourenço entre 1985 a 2020. **B)** Taxa de migração dos trechos do rio São Lourenço durante a série histórica.....25

Figura 10 - Série temporal das barras fluviais no médio rio São Lourenço (MT). **A)** Quantidade de barras fluviais longitudinais e laterais presente no rio São Lourenço entre 1985 a 2020. **B)** Quantidade de barras vegetadas e não vegetadas no rio São Lourenço durante a série histórica. **C)** Número de barras e área das barras em km^2 presentes no rio São Lourenço entre 1985 a 2020. **D)** Quantidade de barras pequenas, médias e grandes no rio São Lourenço durante a série temporal....27

Figura 11 – Série temporal da quantidade e área total das barras fluviais por trecho no rio São Lourenço (MT). **A)** Quantidade total de barras fluviais por trecho do rio São Lourenço durante a série histórica. **B)** Área total das barras fluviais em km^2 entre 1985 e 2020.....28

Figura 12 – Abandono do meandro entre 2002 a 2003 no rio São Lourenço no trecho 1.....31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) e Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH) em operação na Bacia Hidrográfica do rio São Lourenço…….…….....…11

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

BAP – Bacia Hidrográfica do Alto Paraguai

BHSL – Bacia Hidrográfica do São Lourenço

CGH – Central Geradora Hidrelétrica

LANDSAT TM – *Land Remote Sensing Satellite – Thematic Mapper*

OLI – Operational Land Imager

PCH – Pequena Central Hidrelétrica

PNPCH – Programa Nacional de Pequenas Centrais Hidrelétricas

SIG – Sistema de Informações Geográficas

SIGA – Sistema de Informações de Geração da ANEEL

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....10

1.1 Caracterização da área de estudo.....14

2. OBJETIVOS.....18

3. MATERIAIS E MÉTODOS.....19

3.1 Compilação e organização do banco de dados.....19

3.2 Análise morfológica do canal.....20

3.3 Correlação dos dados à mudança no uso da terra.....21

4. RESULTADOS.....22

4.1 Mudanças no uso da terra e implantações de barramentos.....22

4.2 Mudanças morfológicas do canal.....23

4.3 Mudanças nas barras fluviais.....25

5. DISCUSSÃO.....30

6. CONCLUSÃO.....33

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....34

8. ANEXOS.....37

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

O desmatamento causa efeitos irreversíveis ao planeta, afetando o equilíbrio do meio ambiente (SILVA et al., 2010). Os efeitos do desmatamento são sentidos em todas as escalas, visto que a mudança no uso da terra afeta diretamente o meio ambiente, pois fragmenta e destrói os ecossistemas, substituindo a vegetação nativa pela pecuária e plantações. A partir da década de 1970, a Bacia Hidrográfica do Alto Paraguai (BAP) começou a sofrer com a intensificação das ações antrópicas, devido aos incentivos fiscais do governo para a expansão das fronteiras agrícolas no Centro-Oeste do país, em que ocorreu migrações para essa região em buscas de terras para realizar o cultivo de alimentos e utilizá-la para a pecuária. Na década de 80, iniciou-se o assentamento de famílias em pequenas propriedades, esse processo de colonização foi articulado pelo Estado e empresas privadas donas de grandes volumes de capital. Desse modo, ocorreu uma acelerada colonização na região, a qual foi responsável pela multiplicação dos municípios regionais, o que provocou a necessidade de implementação de rodovias (CARLINI, 2013).

Ainda, no começo da década de 80, visando aumentar a exploração do potencial hidráulico e diminuir a dependência do petróleo, o governo brasileiro criou o Programa Nacional de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PNPCH) (LIRA, 2014). Devido à sua topografia, com vales em cânions, e a ampla disponibilidade de recursos hídricos, a BAP é uma área favorável para a instalação de hidrelétricas, de modo que a Bacia Hidrográfica do rio São Lourenço, sub-bacia da BAP, possui 8 Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) e 2 Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH) em operações resultantes desse programa governamental, as quais promovem mudanças na vazão de água, alterando o pulso de inundação e modificando o nível do rio por várias vezes ao dia (LIRA, 2014; CEPF CERRADO, 2019; ANEEL, 2022). A maioria das PCHs foram instaladas entre 2007 e 2017, somente a CGH de Cachoeira da Fumaça e PCH de Poxoréo foram instaladas na década de 70. A PCH de São Lourenço é a única que está localizada próxima a área de estudo, com uma ampla área a montante, em que sua instalação poderá influir de forma direta nas mudanças identificadas no trecho analisado do rio São Lourenço.

Tabela 1 - Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) e Central Geradora Hidrelétrica (CGH) em operação na Bacia Hidrográfica do rio São Lourenço.

Nome	Rio	Município	Tipo de Central Hidrelétrica	Potência (KW)	Ano de Instalação
Cachoeira da Fumaça	Rio Tenente Amaral	Jaciara	CGH	2 880	1975
Poxoréo (José Fragelli)	Rio Poxoréo	Poxoréo	PCH	1 200	1976
Rondonópolis	Rio Ribeirão Ponte de Pedra	Rondonópolis	PCH	26 600	2007
Engenheiro José Gelásio da Rocha	Ribeirão Ponte de Pedra	Rondonópolis	PCH	24 435	2007
Pequi	Rio Saia Branca	Jaciara	PCH	6 000	2008
São Lourenço (Antiga Zé Fernando)	Rio São Lourenço	Juscimeira	PCH	29 988	2009
Sete Quedas Alta	Córrego Ibo	Juscimeira	PCH	22 000	2010
Embaúba	Rio Tenente do Amaral	Jaciara	PCH	4 500	2012
Cambará	Córrego Tenente Amaral	Jaciara	CGH	3 499,2	2012
Água Prata	Rio Prata	Jaciara e Juscimeira	PCH	13 300	2017

Fonte: Autoria própria, dados retirados da Agência Nacional de Energia Elétrica (2022).

A maioria das barragens na Bacia do Alto Paraguai se localizam fora da área do Pantanal (rio acima, nos planaltos), desse modo, os impactos dessas construção são cumulativos rio abaixo, por ser uma planície de inundação complexa, cuja dinâmica sazonal de inundação rege as principais funções ecológicas do ecossistema, o Pantanal é sensível as variações nos regimes de escoamento e nos padrões naturais de inundação causadas pela implementação de hidrelétricas (SOUZA FILHO, 2012; PAZ et al, 2010; CALHEIROS et al, 2010).

Nos rios da bacia do Alto Paraguai a cobertura vegetal é de grande importância, pois o aumento de sedimentos provenientes do planalto é transportado em direção à planície pantaneira, acarretando impactos ambientais, como assoreamento dos rios e perda de habitats, dado que a vegetação natural protege os recursos naturais e a biodiversidade (SILVA et al., 2010; COLMAN et al., 2019). A perda dessa vegetação ocorre pela implantação de pastos e plantações, essa mudança no uso do solo aumenta o transporte de sedimentos e os processos erosivos, em que o segundo causa a exposição das camadas inferiores do solo relativamente impermeáveis, o que intensifica o escoamento superficial e, consequentemente, provoca um aumento nas magnitudes dos picos de inundações (CHARLTON, 2008; GALDINO et al., 2006).

Em 2012, 36% da área da Bacia do rio São Lourenço havia sido convertida a uso antrópico (MINGOTI et al., 2015). Por possuir dois importantes biomas em seu território (cerrado e pantanal), a bacia do rio São Lourenço apresenta elevada biodiversidade e fragilidade na conservação, além dos seus rios contribuírem para a dinâmica sedimentar da planície pantaneira. Dessa forma, por influenciar o planalto e sua conectividade com a planície, as consequências das atividades antrópicas na Bacia do rio São Lourenço devem ser estudadas de maneira mais aprofundada, pois elas prejudicam de forma intensa a dinâmica ambiental regional. Tal fato causa malefícios às populações presentes e, possivelmente, as gerações futuras que vivem dentro dos limites da bacia, como também

afeta negativamente os indivíduos que dependem dos ciclos e qualidade da água na região (CRUZ, 2018; SCALOPPE, 2015).

A forma de um canal é controlada por fatores variáveis (vazão e sedimentos) e por condições do contorno (inclinação do vale, substrato do canal e vegetação) (CHARLTON, 2008). Mudanças externas à bacia afetam a produção de sedimentos, ou seja, com a retirada de vegetação nativa podem ocorrer mudanças na morfologia do canal, como aumento na relação largura/profundidade, número de barras fluviais e taxa de migração do leito (CHARLTON, 2008; PADOVANI et al., 2001).

Os canais meandrantes, como o do rio São Lourenço, descrevem curvas sinuosas semelhantes e harmônicas, apresentam um único canal em que suas águas transbordam na época das cheias e são diferentes dos outros padrões pelo valor do índice de sinuosidade igual ou inferior a 1,5 (BLOOM, 1996). Essa morfologia ocorre devido a acreção lateral, que consiste na sucessiva acumulação lateral de sedimentos, principalmente no lado interno da curva do canal meandrante. Por causa da constante sedimentação na margem convexa e erosão da margem côncava, o canal mantém-se em contínua migração lateral, estabelecendo aspecto bastante dinâmico ao ambiente fluvial (CHARLTON, 2008), assim, as ações antrópicas podem intensificar esse processo natural do rio.

No entanto, as mudanças na dinâmica fluvial provocadas pelo aumento das atividades antrópicas nos planaltos da Bacia Hidrográfica do Alto Paraguai ainda são pouco conhecidas e quantificadas, visto que a retirada da cobertura natural decorrentes das atividades antrópicas são recentes. Deste modo, a hipótese desta pesquisa é que a expansão do desmatamento e implantação de barramentos na Bacia Hidrográfica do rio São Lourenço (MT) alteraram as taxas de erosão dos solos e produção de sedimentos na bacia, impactando na taxa de migração lateral, a largura do canal e o número de barras fluviais presentes no rio.

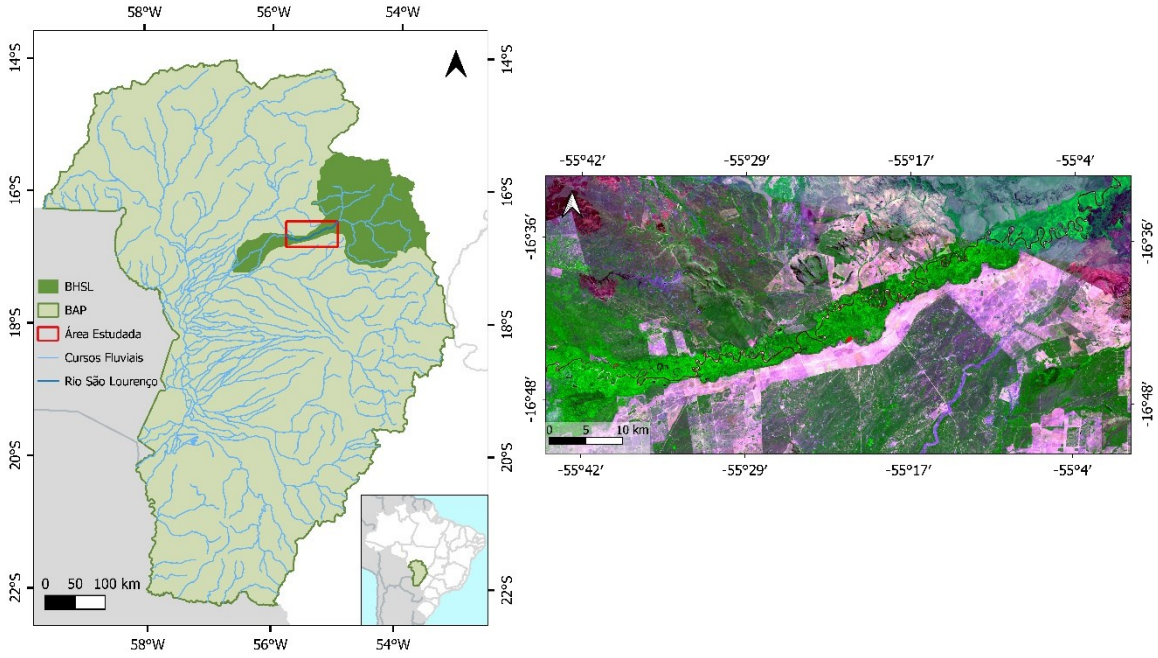
Portanto, o enfoque dessa pesquisa é avaliar o efeito das atividades antropogênicas na morfologia e dinâmica sedimentar do rio São Lourenço (MT), desde 1985 até 2020, por meio de produtos de sensoriamento remoto e Sistema de Informação Geográfica (SIG). Para alcançar o objetivo proposto, foi analisado o trecho do rio São Lourenço desde a entrada no Pantanal até 100 km à jusante (Figura 1).

A realização desta pesquisa é de grande importância, já que as alterações na dinâmica e morfologia do rio São Lourenço podem causar impactos socioambientais irreversíveis no Pantanal. No meio ambiente, essas variações causam a perda da biodiversidade, devido à diminuição da vegetação subaquática e destruição dos habitats para peixes e outras espécies de animais (ALVIM; CHAUDHRY, 1987; CARVALHO, 1994). Já no meio social, elas acarretam perda da capacidade

de navegação, em virtude dos bancos de areia que impedem a passagem de barcos e canoas (PADOVANI et al., 2001), e colocam em risco as comunidades ribeirinhas e suas formas de sustento, dado que as inundações provocam a perda de moradias, empreendimentos comerciais, pastos e plantações (VIEIRA et al., 2017).

Dessa forma, é necessário compreender a estabilidade dos rios diante das ações antrópicas, com o objetivo de realizar um planejamento nas áreas ribeirinhas para possíveis modificações no canal e suas eventuais consequências socioambientais. Ainda, vale ressaltar que a presente pesquisa está inserida no âmbito de um projeto mais amplo, que tem como escopo avaliar os efeitos das ações antrópicas nos sistemas fluviais da Bacia Hidrográfica do Alto Paraguai e seus impactos cumulativos nas planícies do Pantanal.

Figura 1 - Localização da área a ser estudada



Fonte: Autoria: Ma. Stefania Cristino de Oliveira. Imagem Landsat 8 - R5G6B4 - 14/09/2020

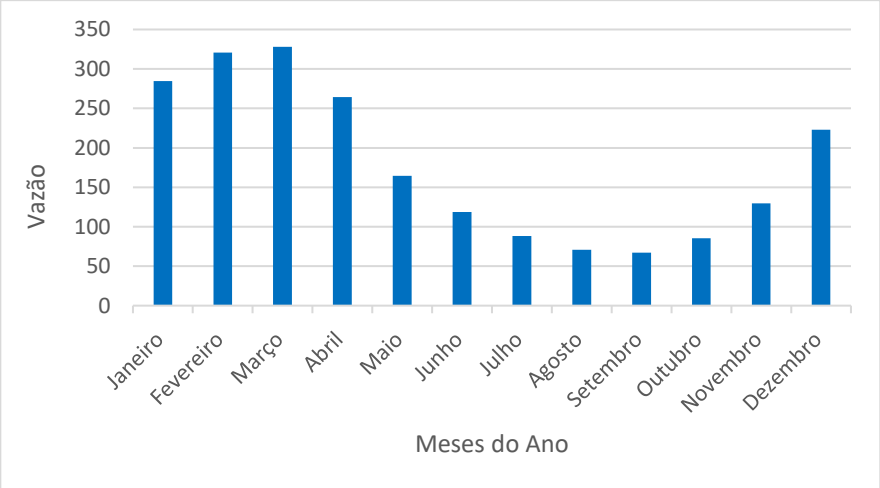
1.1 Caracterização da área de estudo

Os rios da Bacia Hidrográfica do São Lourenço (BHSL) possuem suas nascentes no município de Campo Verde e deságuam suas águas no rio Cuiabá. As cabeceiras da bacia de drenagem estão inseridas em um contexto geomorfológico de planaltos com pluviosidade elevada, o que favorece a erosão superficial dos solos e significativa contribuição de sedimentos para o sistema fluvial que abastece o Pantanal (RACY; ALVES, 2017).

O clima predominante na Bacia do rio São Lourenço é tropical sazonal- AW (sistema Köppen-Geiger), caracterizado por ser quente e úmido, com duas estações marcantes, uma seca e outra chuvosa. A época de seca acontece entre maio e setembro, em que se destaca os meses de julho e agosto por registrarem os menores índices pluviométricos. Entre outubro e abril ocorre a época chuvosa, na qual são medidas as maiores precipitações anuais, variando entre 1.350 mm e 2.000 mm nos meses de dezembro a fevereiro. No planalto, predomina-se o clima tropical úmido, com temperaturas entre 22,5°C e 26,5ºC, sendo o mês de novembro mais quente, com média de 27ºC, e o mês de julho mais frio, com temperatura média de 21ºC (CORRADINI, 2011).

A vazão mensal do rio São Lourenço durante a série histórica (Figura 2) segue o padrão sazonal da precipitação, durante julho a outubro foram registrados os menores valores de vazão, todos sendo inferiores a 100 m^3/s, já entre dezembro e abril nota-se as maiores vazões, sendo o mês de março com o valor superior, com vazão de aproximadamente 325 m^3/s. Desse modo, é visto que as maiores vazões são observadas nos meses chuvosos, como também as menores vazões ocorrem no período de seca, no qual há uma menor taxa de precipitação.

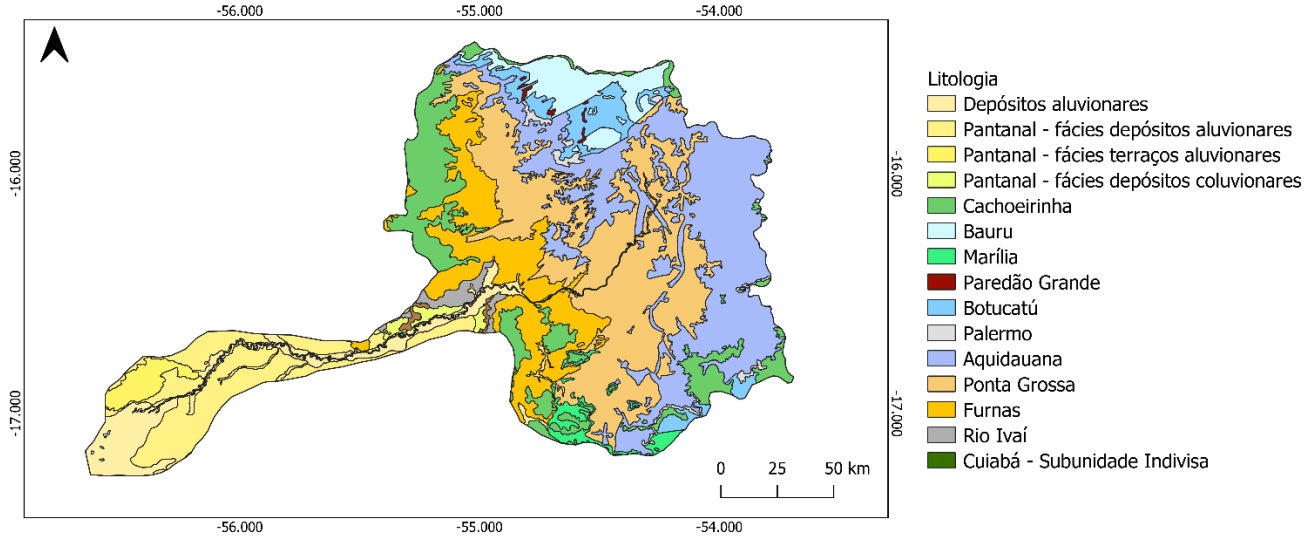
Figura 2 – Médias mensais da vazão entre 1985 a 2020 na estação Acima do Córrego Grande



Fonte: Autoria própria, dados retirados da Agência Nacional de Águas (2022).

Segundo Lacerda Filho *et al. (*2004*),* a BAP está sobre por rochas neoproterozoicas, representada pelo Grupo Rio Ivaí, Grupo Paraná e pelas Formações Aquidauana e Palermo. As rochas mesozóicas, são da Formação Botucatu e Grupo Bauru, já as cenozóicas apresentam Formação Cachoeirinha e coberturas detrito-lateríticas. Ainda, abriga uma das maiores bacias intracratônicas do Brasil, o Pantanal, que possui cerca de 600 m de espessura de sedimentos cenozoicos. A bacia do rio São Lourenço é formada principalmente por arenitos, como a Formação Aquidaunana e Formação Furnas (Figura 3).

Figura 3 – Mapa litológico da Bacia do rio São Lourenço



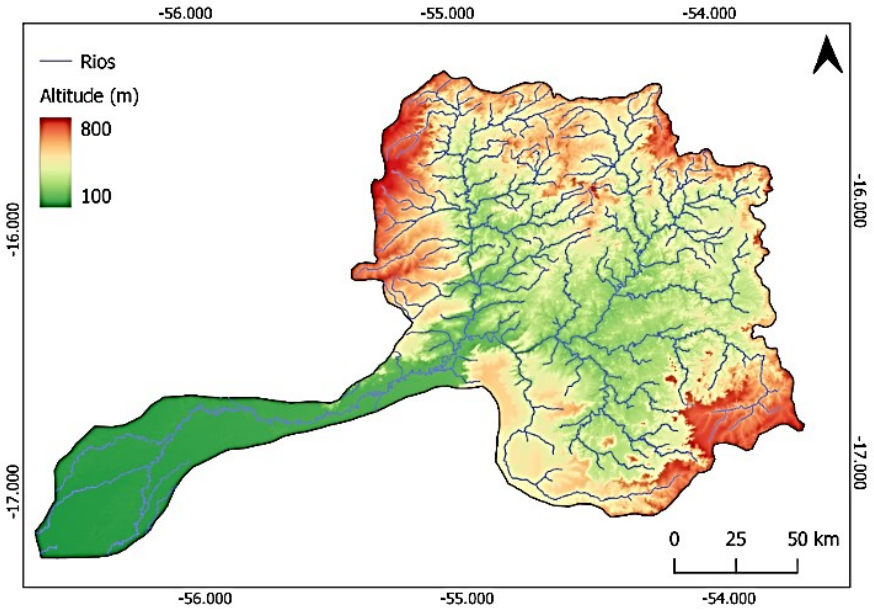
Fonte: Autoria própria, dados retirados do Serviço Geológico Brasileiro (2022).

Os principais afluentes do rio São Lourenço pela margem esquerda são os rios Pombas e Córrego Prata, e pela margem direita os rios Vermelho e São Pedro. A sua bacia hidrográfica drena as terras da porção nordeste da Bacia do Alto Paraguai e divide-se em rede de drenagem distributária (planície do Pantanal), em que ocorre a deposição, e rede de drenagem tributária (planaltos), local de erosão e transporte de sedimentos. No planalto em que se localiza o rio São Lourenço os solos são bem drenados, em sua maioria, originam-se de rochas paleozoicas, eles são bem desenvolvidos, espessos, possuem baixo teor de fertilidade natural e muitos processos erosivos, em que há uma predominância de Neossolos (ORIOTI et al. 1982). A planície pantaneira apresenta aspectos opostos, devido ao difícil escoamento das drenagens, o que facilita a ocorrência de inundações

periódicas e a geração de solos hidromórficos, os quais dominam as feições pedológicas (ABDON e SILVA 2006).

As altitudes da bacia do rio São Lourenço variam entre 100 a 800 metros, em que as maiores altitudes são encontradas nas cabeceiras dos rios e as menores estão presentes na planície pantaneira (Figura 4).

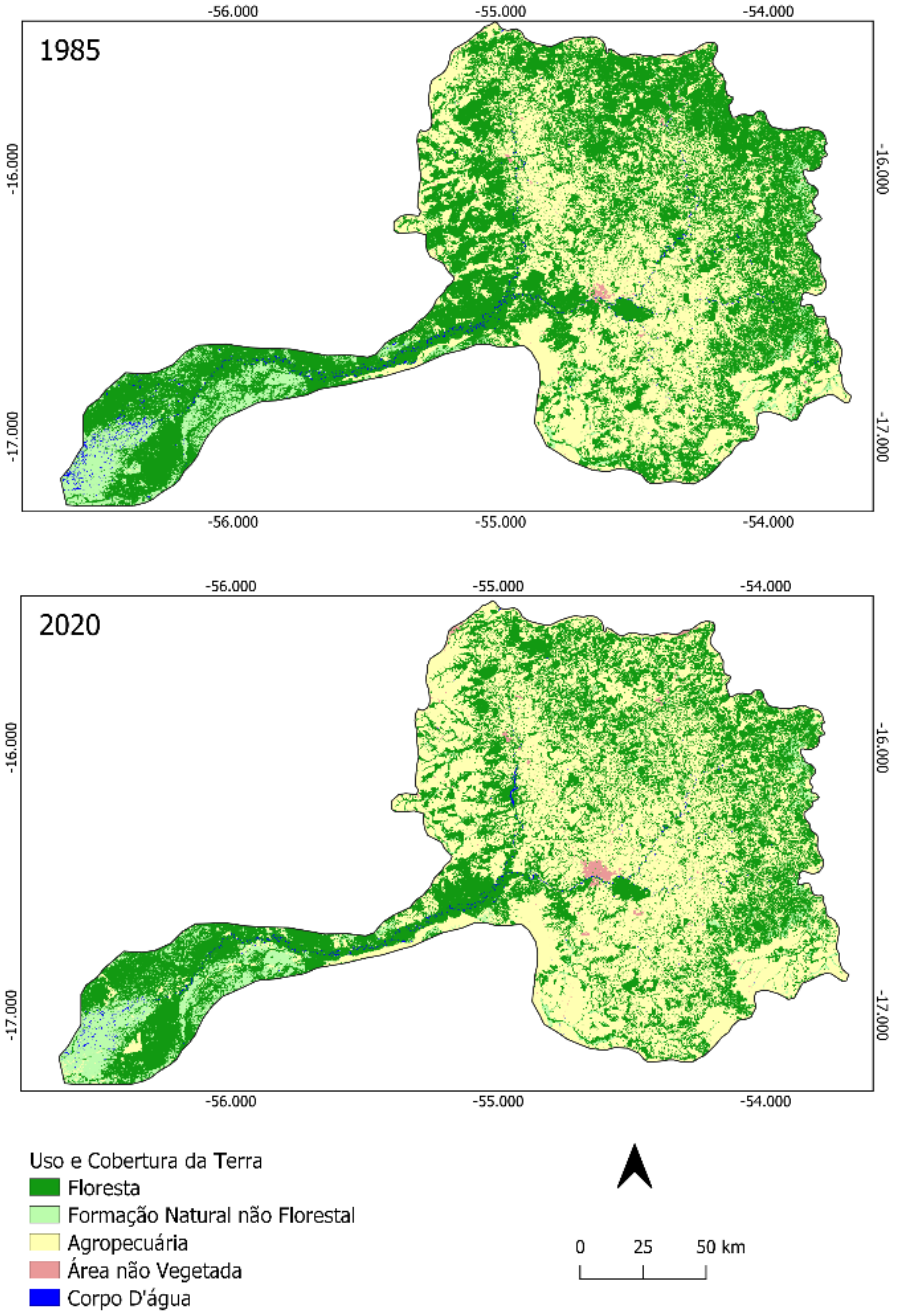
Figura 4 – Mapa hipsométrico da Bacia do rio São Lourenço



Fonte: Autoria própria, dados retirados do projeto TOPODATA (2022).

Ainda, na região da BHSL, prevalece as atividades de agropecuária. Na figura 5 observa-se o mapa de uso e cobertura da terra da Bacia do rio São Lourenço em 1985 e 2020, em que ocorreu um aumento das áreas destinadas a agropecuária, principalmente nos planaltos neste intervalo. Em 2020 verificou-se uma diminuição das florestas na planície pantaneira. Também houve um aumento das áreas não vegetadas na região central da bacia (MAPBIOMAS, 2022).

Figura 5 – Mapa de uso de cobertura da terra da Bacia do rio São Lourenço para os anos de 1985 e 2020



Fonte: Autoria própria, dados retirados do projeto MapBiomas (2022).

2. OBJETIVOS

O objetivo desta pesquisa é investigar os impactos das mudanças no uso terra e implantação de barragens na morfologia e dinâmica sedimentar do rio São Lourenço, Mato Grosso, por meio da análise de uma série temporal de imagens Landsat desde 1985 a 2020.

Para atingir o objetivo geral proposto, conta-se com os objetivos específicos:

- Compilar e organizar uma série temporal de imagens de satélite;
- Mapear o canal e quantificar a taxa de migração lateral e a largura ao longo da série temporal;
- Mapear e quantificar as barras fluviais ao longo da série temporal;
- Correlacionar os índices morfológicos com mudanças no uso da terra e barramentos ao longo do tempo.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Compilação e organização do banco de dados

O banco de dados desta pesquisa foi organizado no *software* de Sistema de Informações Geográficas (SIG), o QGIS 3.10.3, que inclui bases de dados de agências governamentais e instituições de monitoramento ambiental com o intuito de complementar o material base e aplicar os métodos da pesquisa.

Para realizar a série histórica, em cada ano entre 1985 a 2020 utilizou uma imagem de satélite captada pelo LANDSAT TM (*Land Remote Sensing Satellite – Thematic Mapper*) e OLI (Operational Land Imager), com 30 m de resolução, disponíveis pelo *site* Google Earth Engine - https://earthengine.google.com/. Para o intervalo de 1985 a 2011, selecionou-se imagens do Landsat 5, para 2012 foi utilizado o Landsat 7 e entre 2013 a 2020 o Landsat 8 (Anexo A).

As cotas hidrográficas foram coletadas no portal da Agência Nacional de Águas (ANA) – ana.gov.br (Anexo A). Os dados de cota do nível da água na estação Acima do Córrego Grande auxiliaram na escolha das imagens Landsat, sendo que as imagens selecionadas para mapeamento corresponderam as cotas de mesmo nível da água, com preferência para cotas mais baixas do período de seca. Esse processo permitiu minimizar cálculos errados quanto a largura e migração do canal e facilitou a visualização das barras fluviais e, desse modo, possibilitou reduzir os efeitos de variação do nível da água na quantificação das barras fluviais.

O tratamento e processamento dos produtos de sensoriamento foi realizado por meio de realce de contraste linear e composição colorida RGB para as imagens Landsat, segundo procedimentos descritos por Meneses e Almeida (2012). Escolheu-se as bandas 3, 4 e 5 para imagens do Landsat 5 e 7 e as bandas 4, 5 e 6 para imagens do Landsat 8, composições que melhor destacaram o canal do rio São Lourenço e suas barras fluviais.

Os dados sobre o uso da terra foram coletados no *site* do Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil (Projeto Mapbiomas), o qual utiliza classificação *pixel* a *pixel* de imagens de satélites do sistema Landsat para gerar uma cronologia de mapas anuais de cobertura e uso da terra do Brasil. A partir dessas informações contidas no *site*, foram selecionados os dados de agropecuária e área não vegetada da Bacia Hidrográfica do rio São Lourenço para o período entre 1985 e 2018 e, assim, desenvolveu uma série histórica da evolução do desmatamento na região. Os dados de localização e ano de implantação de barramentos de hidrelétricas em operação presente na Bacia do rio São Lourenço foram obtidos no mapa interativo das Represas na Bacia do Alto Paraguai

(BAP), disponível no WebMap do ArcGIS, e no site da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) - https://www.aneel.gov.br/, no Sistema de Informações de Geração da ANEEL (SIGA) desenvolvido pela agência, em que é possível visualizar relatórios dos empreendimentos de energia hidráulica localizados na Bacia Hidrográfica do rio São Lourenço.

3.2 Análise morfológica do canal

O mapeamento e análise dos elementos morfológicos do rio São Lourenço foi realizada por meio da segmentação em 10 trechos, a partir da entrada do canal na planície do Pantanal (-16.481057°, -54.981893°; WGS-84) em direção à jusante, totalizando 100 km. A criação destas divisões tem como objetivo avaliar mudanças na escala de trecho e identificar possíveis controles locais que afetam a dinâmica do canal. Os indicadores morfológicos foram analisados para todos os anos da série temporal entre 1985 e 2020, totalizando 35 anos de análise.

O mapeamento do canal foi realizado por classificação supervisionada, que se baseia na identificação de diferentes classes com comportamentos espectrais diferenciados. Para isso, são empregados algoritmos de classificação para extrair as feições de interesse (BERNARDI et al., 2007). Nesse processo foram selecionadas pequenas áreas de amostras na imagem (área de treinamento), contendo pixels que sejam bem representativos. Assim, a classificação define os tipos de cobertura, em que mostra e cria assinaturas dos pixels considerados das mesmas classes (MENESES e ALMEIDA, 2012; OLIVEIRA et al, 2014). No caso dessa pesquisa, foram definidas as classes água e áreas externas ao canal.

A taxa de migração do canal foi determinada por meio da linha central, a qual foi gerada de forma automática pela ferramenta *Collapse Dual Lines To Centerlines*, disponível no *software* ArcGIS 10.6.1, a partir das margens do canal. A linha central de cada ano foi comparada com a linha central do ano posterior da série temporal. A quantificação da migração do canal foi definida através de um polígono entre as duas linhas centrais para verificar a área que ocorreu o deslocamento do rio em todos os trechos. Em seguida, para definir qual período ocorreu uma migração do canal mais significativa, utilizou a seguinte fórmula:

$$Média_c = \frac{C_1 + C_2}{2}$$

$$Migração\ do\ canal = \frac{Área\ do\ polígono}{Média_C}$$

Em que: C_1 = comprimento canal no primeiro ano; C_2 = comprimento do canal no segundo ano.

A largura do rio São Lourenço foi calculada a partir das duas margens mapeadas e, assim, gerou-se de forma automático pelo s*oftware* um polígono com a respectiva área de cada ano da série temporal. Para calcular a largura, a área foi dividida pelo comprimento de cada segmento (10 km), expresso pela equação abaixo:

$$Largura = \frac{Área\ do\ segmento}{Comprimento\ do\ segmento}$$

As barras foram mapeadas de forma manual, a partir da intepretação visual das imagens. Após identificá-las, foi analisada as seguintes feições: se as barras são móveis ou estáveis, por meio da ocorrência ou não de vegetação; a quantidade de barras fluviais; área em planta ocupada pelas barras fluviais; tamanho relativo dessas barras (pequena: tamanho entre 0,001 km^2 a 0,02 km^2; média: tamanho entre 0,021 km^2 a 0,05 km^2; grande: tamanho maior que 0,051 km^2); o tipo de barras em função da sua posição no canal (longitudinais e laterais) (LATRUBESSE et al., 2009).

3.3 Correlação dos dados à mudança no uso da terra

Os indicadores morfológicos mapeados foram confrontados com dados de desmatamento, referente ao aumento das áreas de ocupação antrópica, e barramentos dos rios ao longo da série histórica. Gráficos de séries temporais foram elaborados, possibilitando a verificar se há ou não correlação entre as variáveis analisadas.

4. RESULTADOS

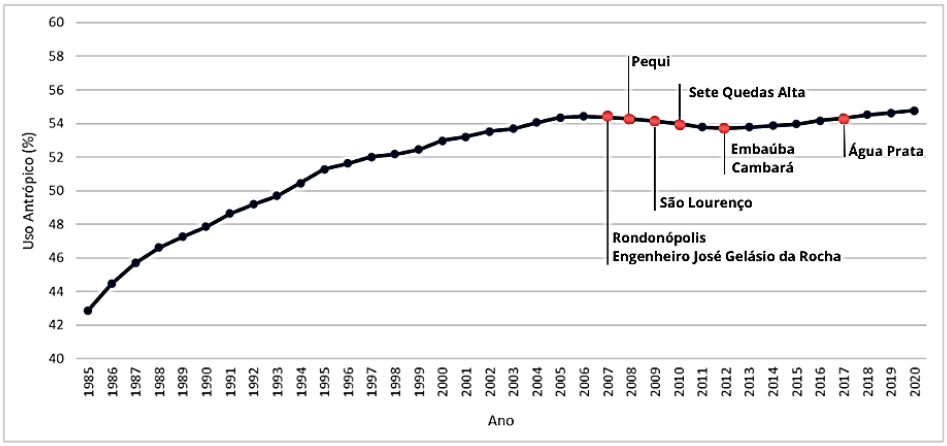
4.1 Mudanças no uso da terra e implantações de barramentos

No ano de 1976, segundo Silva (2011) o desmatamento era aproximadamente 5% no planalto e próximo de 0 no Pantanal, assim, entre 1976 e 1985 ocorreu a maior taxa de ocupação do solo com um aumento para 43% das áreas antrópicas, de acordo os dados coletados nesta pesquisa. Entre 1985 e 2005 a bacia do rio São Lourenço apresentou um crescimento de 43% para aproximadamente 54% da área total ocupada por agropecuária e áreas não vegetadas. No intervalo 2005 e 2012 verificou-se uma tendência de estabilidade, em que ocorreu uma diminuição de aproximadamente 0,65%, seguida pelo aumento novamente das áreas antrópicas até 2020 (Figura 6).

Ainda, na Figura 6 é possível observar a instalação das PCHs e CGH em operação durante a série histórica na Bacia do rio São Lourenço. No período que houve o maior número de implementações de centrais hidrelétricas, entre 2007 e 2012, foi também o período marcado pela estabilidade das áreas de uso antrópico. Já em 2017, em que ocorreu a instalação da PCH de Água Prata, verificou-se um pequeno aumento na ocupação antrópica na bacia.

A evolução do uso antrópico na Bacia do rio São Lourenço (Figura 7) é evidente, em que as atividades humanas estão presentes principalmente a montante, na área dos planaltos. Em 2020 é observado um aumento do uso antrópico a jusante, região da planície pantaneira (MapBiomas, 2022).

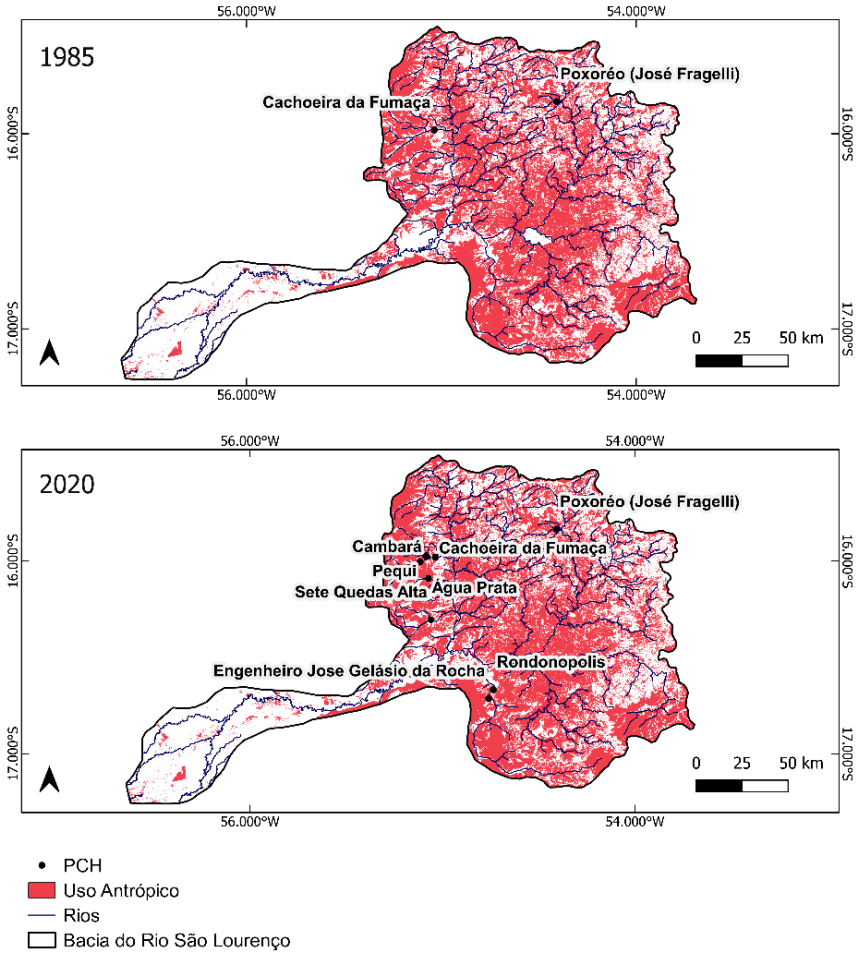
Figura 6 – Variação no uso antrópico na Bacia do rio São Lourenço entre 1985 a 2020



Os pontos rosas indicam o ano de instalação das PHCs e CGH na bacia do rio São Lourenço durante a série histórica.

Fonte: Autoria própria, dados retirados do projeto MapBiomas (2022).

Figura 7 - Evolução do uso antrópico na Bacia Hidrográfica do rio São Lourenço entre 1985 a 2020 com indicação das PCHs e CGH presentes dentro da bacia.

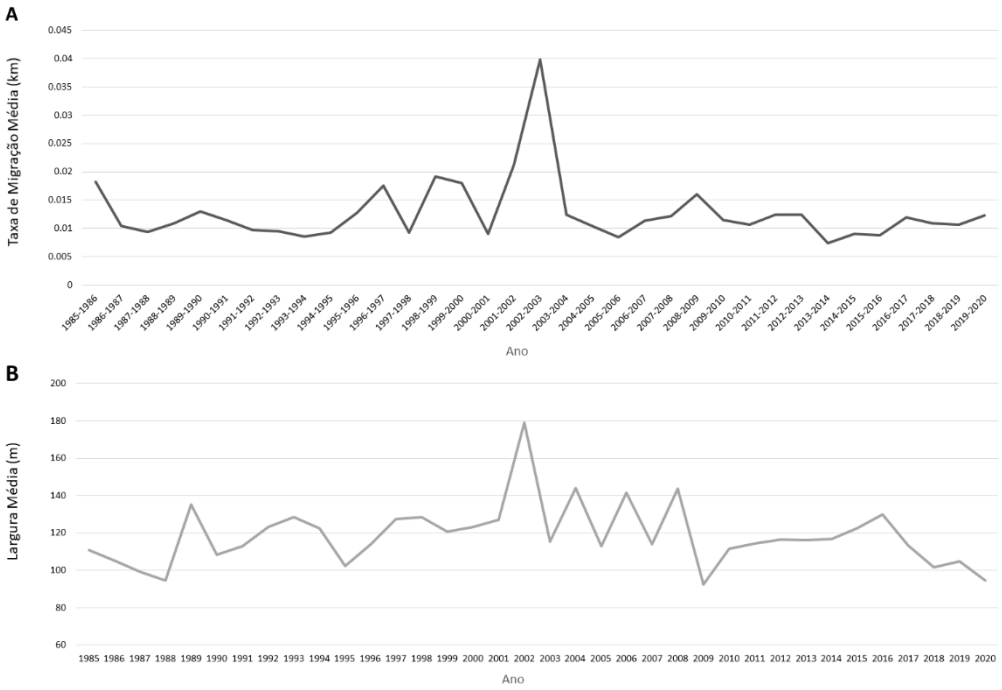


Fonte: Autoria própria, dados retirados do projeto MapBiomas (2022).

4.2 Mudanças morfológicas do canal

De modo geral, os resultados não apresentaram grandes variações na largura e taxa de migração do canal, somente houve o registro de alguns picos evidentes. Em média a taxa de migração do canal ficou em 0.012 km/ano, alcançando alguns picos em 1985-1986 com 0.018 km/ano, 1996-1997 com 0.017 km/ano, 1998-1999 com 0.019 km/ano e 1999-2020 com 0.018 km/ano. Já o menor valor foi verificado em 2013 a 2014, com taxa de 0.007 km/ano (Figura 8A). Desse modo, não houve mudanças muito nítidas na taxa de migração, somente é visto um pico evidente na migração entre 2002 e 2003, o qual alcançou 0.04 km/ano nesse período.

Figura 8 - Série temporal de parâmetros morfológicos de canal no médio rio São Lourenço (MT). **A)** Taxa de migração média do rio São Lourenço entre 1985 a 2020. **B)** Largura média em metros do rio São Lourenço entre 1985 a 2020.



Fonte: Autoria própria.

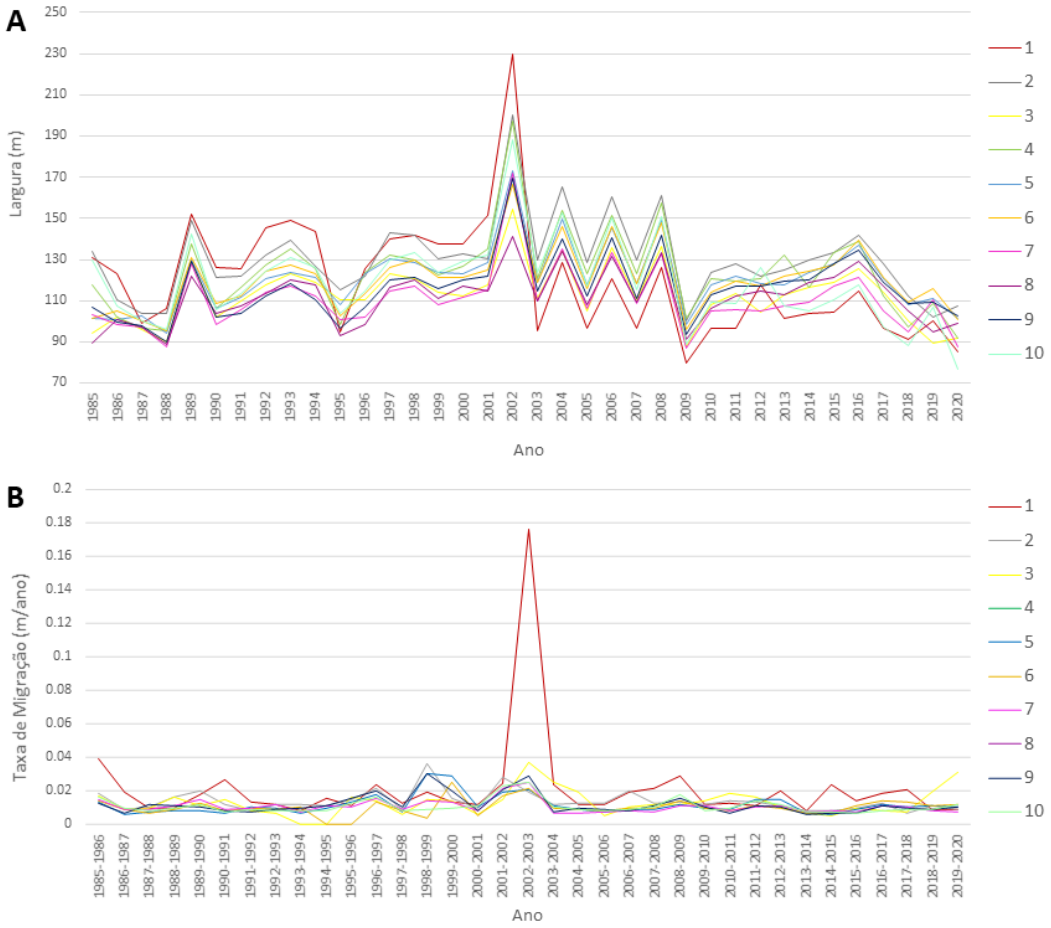
Na Figura 8B, pode-se observar que a largura do canal apresentou variabilidade entre 1985 e 2020. A maior largura encontra-se no ano de 2002, com cerca de 180 metros. Ainda, observa-se alguns picos evidentes no ano de 1989 com 135 metros, 2004 com 144 metros, 2006 com 141 metros e 2008 com 144, já a menor largura foi verificada no ano de 2009, com 92 metros. Em média, a largura ficou em 118 metros. Entre 2010 e 2016 é visto uma tendência de crescimento na largura, a qual iniciou com 92 metros e alcançou 130 metros no último ano desse intervalo.

Na Figura 9A, entre 1985 e 2002 o trecho 1 é visto com maiores larguras, a partir de 2003 começou a obter os menores valores nos restantes dos anos da série histórica. Ainda, em 2002 é observado a maior diferença nos valores da largura por trecho, em que o trecho 8 obteve 140 m e no trecho 1 alcançou 230 metros, uma variação de 90 metros. Nos anos de 1989, 2002, 2004, 2006 e 2008 é observado um aumento significativo em todos os trechos.

Na Figura 9, é exposta a taxa de migração ao longo dos 100 km do rio, observa-se que de forma geral não ocorreu uma mudança significativa na migração durante a série temporal, o qual variou entre 0.04 m/ano e 0.005 m/ano. No entanto, no período entre o ano de 2002-2003 é visto um aumento expressivo na taxa de migração no trecho 1, o qual atingiu 0.18 m/ano. Ainda, é visto

o trecho 1, o qual representa os 10 primeiros quilômetros da área de estudos, foi o trecho que mais sofreu alterações na taxa de migração ao longo do tempo, alcançando valores entre 0.009 e 0.18 m/ano. Também se nota que no intervalo 1998-1999 houve um aumento evidente na taxa nos trechos 2, 5 e 9 e, ainda, é observado outro pico entre 2002 e 2003 em todos os trechos.

Figura 9 – Largura e taxa de migração por trecho durante a série histórica no rio São Lourenço (MT). A) Largura em metros dos trechos de 10 km do rio São Lourenço entre 1985 a 2020. **B)** Taxa de migração dos trechos do rio São Lourenço durante a série histórica.



Fonte: Autoria própria.

4.3 Mudanças nas barras fluviais

Os resultados demonstram alterações no número e área das barras fluviais durante a série histórica (Figura 10A). Em 1985 ocorreu o menor número de barras, que totalizou 32 barras, já em 2008 houve a formação de 106 barras, tornando-se o ano com o maior pico, sendo a média de 80 por ano. A área das barras apresenta o mesmo cenário, com diversos picos sem apresentar uma

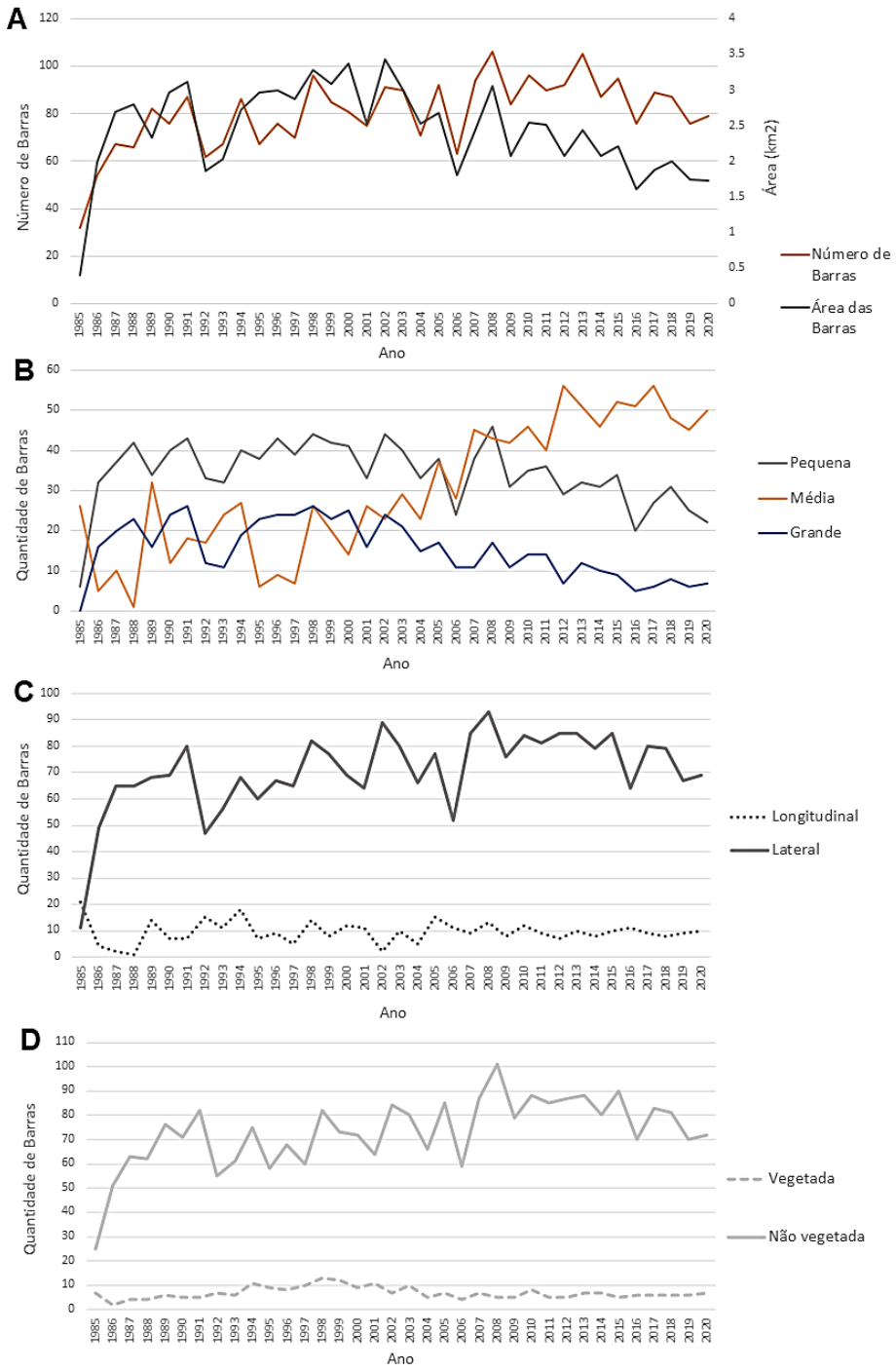
tendência clara, a menor área ocorreu em 1985 com 0.391 km^2 e a maior em 2002 com 3.434 km^2, possuindo média anual de 2.4 km^2. Os dados indicam aumento no número e quantidade de barras fluviais de 1985 a 1991 e uma tendência de diminuição de 2009 até o ano de 2020. Essa diminuição na última década é mais perceptível na área das barras do que no número total destas (Figura 10A).

As barras fluviais foram classificadas em pequena, média e grande de acordo com sua área (Figura 10B). De modo geral, observa-se que houve um aumento da área das barras médias durante a série histórica, a qual em 1985 somou 26 barras e em 2020 exibiu 50 barras. Esse aumento é mais expressivo após o ano de 2000. As barras pequenas e grandes apresentam tendência de estabilidade entre 1985 a 2002, sendo que a partir de 2005 houve um decréscimo na quantidade destas barras.

O número de barras laterais é superior às barras longitudinais ao longo da série temporal (Figura 10C), somente em 1985 as barras laterais eram inferiores à quantidade de barras longitudinais. Em média, cada ano da série apresenta 70 barras laterais e 9 longitudinais, desse modo, as barras laterais são cerca de 7 vezes mais frequentes do que as longitudinais no rio São Lourenço. O pico de barras laterais ocorreu em 2008 com 93 barras, já as longitudinais obtiveram seu maior valor em 1985 com 21 barras. O menor valor de barras laterais ocorreu em 1985 com 11 barras, para as barras longitudinais aconteceu em 1986 com 2 barras.

O número de barras não vegetadas é superior às barras vegetadas (Figura 10D). Em média, cada ano da série possui 7 barras vegetadas e 73 barras não vegetadas. Desse modo, é visto que as barras não vegetadas são cerca de 10 vezes mais frequentes do que barras vegetadas no rio São Lourenço. As barras não vegetadas apresentaram diversas alterações durante a série histórica, em 2008 foi o ano que ocorreu a maior quantidade de barras não vegetadas com 110 barras, também foram observados picos evidentes em 1991 e 1998 com 82 barras, 2002 com 84 barras, 2005 com 85 barras, 2010 e 2013 com 88 barras e 2015 com 90 barras. A menor quantidade de barras não vegetadas ocorreu em 1985, que somou 21 barras. As barras vegetadas não apresentam muitas alterações na área de estudo, variando de 2 a 13 barras, com o pico em 1998 e o menor valor em 1986.

Figura 10 – Série temporal das barras fluviais no médio rio São Lourenço (MT). A) Quantidade de barras fluviais longitudinais e laterais presente no rio São Lourenço entre 1985 a 2020. **B)** Quantidade de barras vegetadas e não vegetadas no rio São Lourenço durante a série histórica. **C)** Número de barras e área das barras em km^2 presentes no rio São Lourenço entre 1985 a 2020. **D)** Quantidade de barras pequenas, médias e grandes no rio São Lourenço durante a série temporal.



Fonte: Autoria Própria.

Na avaliação do número e áreas de barras fluviais por trechos (10 trechos de 10 km cada) observa-se que há heterogeneidade espacial na ocorrência das barras fluviais (Figura 11). O trecho 1 (mais a montante) apresentou as maiores quantidades de barras entre 1992 e 2005, a partir de 2006 o trecho 10 (mais a jusante) apresenta números superiores de barras em comparação aos outros trechos, somente no ano de 2012 o trecho 4 verificou-se a maior quantidade de barras. No trecho 8 é exposta a menor quantidade de barras, sendo o único segmento que obteve nenhuma barra durante toda a série histórica no ano de 1985 (Figura 11A).

Figura 11 – Série temporal da quantidade e área total das barras fluviais por trecho no rio São Lourenço (MT). **A)** Quantidade total de barras fluviais por trecho do rio São Lourenço durante a série histórica. Gráfico **B)** Área total das barras fluviais em km^2 entre 1985 e 2020.

Fonte: Autoria própria.

Na avaliação da área das barras fluviais (Figura 11B), é observado mudanças claras no trecho 1 em 1992 a 1993 e 2006 a 2020, nesses dois intervalos foram observadas uma diminuição nas áreas

das barras. Nota-se que o trecho 1 apresentou na maior parte da série histórica as maiores áreas, entre 0.5 a 0.7 km^2 durante o intervalo de 1986 a 1991 e de 1994 a 2005, também foi o trecho que mais sofreu variações, em que a área sofreu modificações de até 0.06 km^2. O trecho 8 destaca-se por apresentar as menores áreas, as quais variaram de 0 a 0.1 km^2. O trecho 4 apresentou uma tendência de diminuição a partir do ano de 2004, possuindo uma área de 0.3 km^2 a 0.1 km^2. O restante dos trechos apresentou uma tendência de equilíbrio, não obtendo grandes variações significativas, as quais sofreram alterações em um fator de 0.02 km^2.

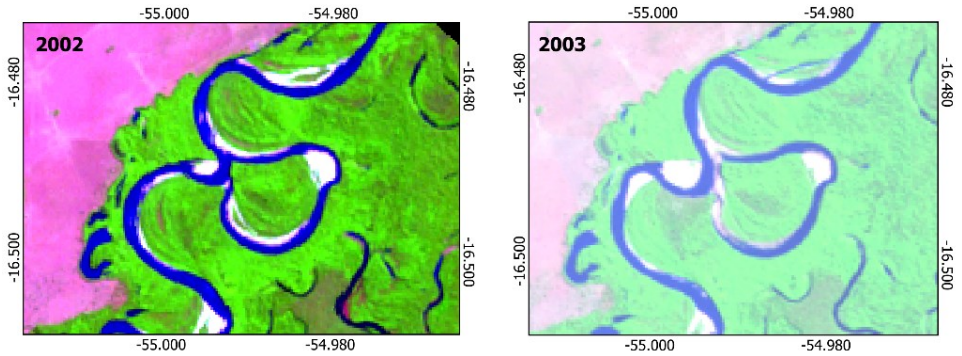
5. DISCUSSÃO

De acordo com os resultados expostos nesta pesquisa, verifica-se um significativo aumento das áreas de uso antrópico na Bacia do rio São Lourenço (Figura 6). Esse crescimento pode ser associado a implantação de pastos e plantações, visto que a partir da década 70 o governo brasileiro começou a introduzir incentivos fiscais para realizar a expansão das fronteiras agrícolas na região Centro Oeste do país (CASTRO, 2014). Essa atividade antrópica propicia a erosão e torna o solo mais desprotegido, uma vez que a ação da chuva arrasta os sedimentos do planalto para a planície pantaneira com mais facilidade (VIEIRA et al, 2017). Ainda, não houve uma ligação direta entre a implementação de pequenas centrais hidrelétricas com o aumento das áreas antrópicas, visto que a instalação das PCHs como Rondonópolis, Pequi, São Lourenço, Sete Quedas Alta, Embaúba e da CGH Cambará ocorreram em um cenário em que houve uma tendência de diminuição das áreas de ocupação humana na Bacia do rio São Lourenço. Somente a instalação da PCH de Água Prata ocorreu conjuntamente com um aumento nos valores das áreas antrópicas.

Não ocorreram mudanças significavas na largura e a taxa de migração do canal. A largura sofreu um leve aumento de 1985 até 2008, esse resultado pode estar relacionado com o aumento da entrada de sedimentos e modificações nos padrões de erosão e deposição decorrentes da mudança do uso da terra na Bacia Hidrográfica do rio São Lourenço (CHARLTON, 2008). Foi observado uma pequena diminuição da largura a partir de 2009, que pode estar associado a instalação da PCH de São Lourenço, que ocorreu em 2009 a montante da área de estudo. A sua instalação pode ter causado a diminuição da quantidade e granulometria dos sedimentos que chegam à jusante do rio, o qual deve ter aprofundado e diminuído a largura do canal (DUNNE; JEROLMACK, 2020).

Ainda, ocorreu uma mudança substancial na taxa de migração do canal apenas no ano 2002-2003. Esse fato está associado com o corte de um meandro no trecho 1 (Figura 12), devido ao aumento do meandro, ele se encontra com o meandro adjacente e causa o abandono do canal por corte, o que afeta o valor da taxa de migração nesse intervalo de tempo (ZANCOPÉ et al, 2009).

Figura 12 – Abandono do meandro entre 2002 a 2003 no rio São Lourenço no trecho 1



Fonte: Autoria própria. Imagens Landsat 5 – R3G4B5 - 2002 e 2003.

As variações na quantidade e área das barras fluviais podem ser associadas às alterações vistas nas áreas de uso antrópico na bacia do rio São Lourenço, já que a retirada da vegetação e de mudança no uso da terra acarreta no aumento da sedimentação do canal, o qual é responsável pelo aparecimento de barras. Tal fato fica evidente ao observar um aumento na área das barras na década de 80, período em que ocorreu um grande avanço do desmatamento, em que evolui de 5% para 43% entre 1976 a 1985 (SILVA et al., 2011).

Após 2006 há uma tendência de diminuição na área das barras, que pode estar associado com a instalação de barramentos, dado que foram construídas 7 PCHs e 1 CGH na bacia do rio São Lourenço a partir de 2007, as quais prejudicam a chegada de sedimentos na planície pantaneira.

Houve um aumento significativo das barras médias, em que o aumento de sedimento de fundos, que podem se estabilizar temporariamente formando barras fluviais de menor tamanho, mas, posteriormente, com o fluxo menos concentrado e com uma menor capacidade de transporte, ocorre a depósito de sedimentos ao redor do depósito inicial e, assim, acarreta no aumento da extensão das barras pequenas, tornando médias de acordo com a classificação estabelecida pela pesquisa (CARLINI, 2013).

Em relação à cobertura das barras, o número de barras não vegetadas é bem superior às vegetadas, esse cenário pode estar associado com o fato de os sedimentos do canal serem recentes e estarem em constante transporte, o que não permite o desenvolvimento de vegetação sobre as barras, indicando que a maioria das barras são instáveis, em virtude da permanência dessas formações por um longo período permite o desenvolvimento de vegetação (STEVAUX, 1994a; LELI, 2015).

Sobre a posição das barras no canal, notou-se a predominância de barras laterais. A superioridade da quantidade de barras laterais ocorre devido à baixa velocidade de fluxo perto das

margens e de barras maiores, visto o aumento sedimentos transportados pelo rio diminuem sua profundidade e aumentam a quantidades de barras, o que afeta o deslocamento do fluxo da água. Desse modo, por ter velocidade menores, essa região é mais propícia para a deposição ativa da carga sedimentar transportada, promovendo a formação de barras laterais (CHARLTON, 2008; STEVAUX, 1994b; LELI, 2015).

6. CONCLUSÃO

A escolha e o tratamento aplicado nas imagens do Landsat se mostraram apropriados, uma vez que as imagens orbitais evidenciaram alterações na morfologia e deposição sedimentar do rio São Lourenço.

A quantidade e área de barras fluviais apresentaram aumentos evidentes ao longo da série temporal analisada, em decorrência do aumento das áreas de uso antrópico na bacia. Também a instalação de pequenas centrais hidrelétricas e de uma central geradora hidrelétrica provocaram a diminuição da área das barras fluviais. No entanto, a taxa de migração do canal e largura do canal não apresentaram variações significativas ao longo da série. Tal fato pode ser associado ao maior tempo de resposta deste parâmetro às ações antrópicas. Neste caso, seria necessária uma análise temporal mais longa, para que houvesse uma verificação de mudanças na taxa de migração do canal.

Desta forma, corrobora-se a hipótese que a expansão do desmatamento na Bacia Hidrográfica do rio São Lourenço (MT) e a instalação de barramentos alteraram as taxas de erosão dos solos e produção de sedimentos na bacia, impactando na dinâmica sedimentar e na morfologia do canal.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA. Disponível em: http:www.ana.gov.br.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/.

ALVIM, A. M., CHAUDHRY, F. H. Modelo Matemático do Assoreamento de Reservatório. *In:* VII SIMPOSIO BRASILEIRO DE HIDROLOGIA E RECURSOS HIDRICOS, 1987, Salvador. Porto Alegre-RS: Associação Brasileira de Recusos Hídricos. v. 3. p. 236-247.

BERNARDI, H.V.F; DZEDZEJ, M.; CARVALHO, L.M.T, ACERBI F.W.A JR.; Classificação digital do uso do solo comparando os métodos "pixel a pixel" e orientada ao objeto em imagem Quickbird. *In:* Anais XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 21-26 abril 2007, Florianópolis, INPE, p.5595-5602.

BLOOM, A. L. 1996. **Superfície da terra: série de textos básicos de geociência**. Editora Edgard Blucher LTDA. 184 p.

CALHEIROS, D., ZERLOTTI, P., SANTANA, S. **Hidrelétricas na Bacia do Alto Paraguai**. Campos Grande: Rede Pantanal, 2011. E-book. Disponível em: https://ecoa.org.br/cenarios-pantaneiros-hidreletricas-na-bacia-do-alto-paraguai/. Acesso em: 02 out. 2022.

CARLINI, E. R. **Influência do uso e ocupação da terra na dinâmica do rio São Lourenço – Estado de Mato Grosso**. 2013. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Geologia) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP)**,** Campus de Rio Claro, 2013.
CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. 2 ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2008.

CASTRO, C. N. **A agropecuária na região Centro-Oeste: Limitações ao desenvolvimento e desafios futuros**. 2014. Texto para Discussão - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), Brasília, 2014. disponível em: http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/2655/1/TD_1923.pdf. Acesso em: 20 out. 2022.

CHARLTON, R. **Fundamentals of fluvial geomorphology**. 1 ed. London: Editora Routledge, 2008.

COLMAN, Carina Barbosa et al. Effects of Climate and Land-Cover Changes on Soil Erosion in Brazilian Pantanal. **Sustainability**, Belo Horizonte, p. 11-24. 2019.

COMEÇA o projeto "monitoramento da qualidade em multiescala na bacia do rio São Lourenço" em Mato Grosso.**CEPF Cerrado**. 2019. Disponível em: http://cepfcerrado.iieb.org.br/comeca-o-projeto-monitoramento-da-qualidade-em-multiescala-na-bacia-do-rio-sao-lourenco-em-mato-grosso/. Acesso em: 28 de abr. de 2022.

CORRADINI, F. A. **Geomorfologia fluvial, mudanças ambientais e evolução do megaleque do rio São Lourenço, Quaternário do Pantanal Mato-Grossense**. 2011. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exata, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2011.

CRUZ, Rúbia Fantin da. **Impactos de pequenas centrais hidrelétricas com diferentes arranjos na Bacia do Alto São Lourenço**. 2018. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Mato Grosso, Cuabá, 2018.

DUNNE, K. B., & JEROLMACK, D. J. (2020). What sets river width?. **Science advances**.ed. 41, vol. 6, out. 2020. DOI: 10.1126/sciadv.abc1505. Disponível em:

https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.abc1505#:~:text=One%20of%20the%20simplest%20questions,fundamental%20characteristic%20of%20river%20systems. Acesso em: 16 out. 2022.

FILHO, L. J. V., FILHO, W. A., OLIVEIRA, C. R., OLIVEIRA, C. C., ALBUQUERQUE, M. C. **Geologia e Recursos Minerais do Estado de Mato Grosso.** Cuiabá: CPRM. 2004. E-book. disponível em: https://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/4871/rel_geo_minerais_mato_grosso.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 03 out. 2022.

GALDINO, S., VIEIRA, L. M., PELLEGRIN, L. A. **Impactos ambientais e socioeconômicos na Bacia do Rio Taquari – Pantanal**. Revisão técnica: Sérgio Galdino, Luiz Marques Vieira, Luiz Alberto Pellegrin, editores técnicos Corumbá: Embrapa Pantanal. 2006. E-book. Disponível em: http://www.cpap.embrapa.br/publicacoes/index.html. Acesso em: 03 out. 2022

GOOGLE EARTH ENGINE. Disponível em: https://earthengine.google.com/.

LATRUBESSE, E. M., AMSLER, M. L., DE MORAIS, R. P., & AQUINO, S. The geomorphologic response of a large pristine alluvial river to tremendous deforestation in the South American tropics: The case of the Araguaia River. **Geomorphology**, Austin, v. 113, p. 239-252, 27 mar. 2009.

LELI, I. T. **Gênese, evolução e morfologia das ilhas e planície de inundação do alto rio Paraná, Brazil**. 2015 Tese (Doutorado) - UNESP/IGCE, Rio Claro, 2015. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/handle/11449/132811. Acesso em: 28 ago. 2022.

LIRA, J. A. **Pequenos empreendimentos, grandes impactos: estudo das PCHs quanto aos aspectos ideológicos, legais e impactos ambientais na Bacia do Rio Cuiabá com estudo de caso na Sub-Bacia do Rio São Lourenço, em Mato Grosso**. 2014 Dissertação (Mestrado em geografia) -Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2014. Disponível em: https://ri.ufmt.br/handle/1/1272. Acesso em: 30 ago. 2022.

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

MENESES, P.R.; ALMEIDA, T. de. Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto. **Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico**, Brasília: UnB, p. 1-266, 2012.

MINGOTI, R., PADOVANI, C., CALHEIROS, D. F. 2015**. Uso do Solo e Geração de Sedimentos na Bacia do Rio São Lourenço**. *In*: III Seminário da Rede AgroHidro e I Workshop do projeto "Os impactos da agricultura e das mudanças climáticas nos recursos hídricos". 15-19 jun. 2015, Corumbá, 2015, p. 61.

OLIVEIRA, G. C., MARTINS, V.S., FILHO, E. I. F., XAVIER, F. V. Classificação supervisionada como ferramenta para avaliação da dinâmica do uso e cobertura do solo. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.10, n.18, p. 924, 01 jul. 2014.

ORIOTI, A.L., AMARAL-FILHO, Z. P. do, OLIVEIRA, A. B. de. 1982. **Pedologia: levantamento exploratório de solos**. In: (ed.) Ministério das Minas e Energia. Projeto Radam Brasil. Folha SE.21 Corumbá e parte da Folha SE.20. Rio de Janeiro: MME, 27, 225 – 328.

PADOVANI, C. R., PONTARA, R. C. P., PEREIRA, J.G. Mudanças recentes de leito no baixo curso do rio Taquari, no Pantanal mato-grossense. **Boletim Paranaense de Geociências**, n. 49, p. 33-38, 2001.

PAZ, A. R., COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. Simulação Hidrológica de Rios com Grandes Planícies de Inundação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 15, n. 4, p.31-43, 2010.

PROJETO MAPBIOMAS – Coleção 4.1 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil. Disponível em: https://mapbiomas.org/.

RACY, E., ALVES, J. A. Impactos das políticas de desenvolvimento territorial nas comunidades pantaneiras: o caso da bacia do rio São Lourenço, Mato Grosso. Trabalho apresentado no I seminário de políticas públicas e desenvolvimento territorial, 2017.

SCALOPPE, L. M. **A geração de energia hidrelétrica na Bacia do Alto Paraguai: riscos e ameaças na planície pantaneira**. 2015. Trabalho de Pós Graduação (Direito Ambiental) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2015.

SILVA, J. S. V., ABDON, M. M., MORAIS, J. A. Desmatamento na bacia do Alto Paraguai no Brasil. Campinas. Embrapa Informática Agropecuária. *In:* 3º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 16-20 out. 2010, Cáceres, **Anais 3º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**. Mato Grosso. 2010. p. 458 458 -467.

SILVA, J. S. V., ABDON, M. M., SILVA, S. M. A., MORAES, J. A. Evolution of deforestation in the brazilian pantanal and surroundings in the timeframe 1976 – 2008. **Geografia**, Rio Claro, v. 36, N ̈mero Especial, p. 35-55, jun. 2011.

SOUZA FILHO, E. E. As barragens na bacia do rio Paraguai e a possível influência sobre a descarga fluvial e o transporte de sedimentos. **Boletim de Geografia**, v. 31, n. 1, p.117-133, dez. 2012. DOI: 10.4025/bolgeogr.v31i1.13638. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/270936323_As_barragens_na_bacia_do_rio_Paraguai_e_a_possivel_influencia_sobre_a_descarga_fluvial_e_o_transporte_de_sedimentos. Acesso em: 02 out. 2022.

STEVAUX, J. C. Geomorfologia, sedimentologia e paleoclimatologia do alto curso do rio Paraná (Porto Rico, PR). **Boletim Paranaense de Geociências**, Curitiba, n. 42, p. 97-127, 1994a.

STEVAUX, J. C. The Upper Paraná River (Brazil): Geomorphology, sedimentologyand paleoclimatology. **Quaternary International**, n. 21, p. 143-161, 1994b.

TOPODATA – Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil. Disponível em: http://www.dsr.inpe.br/topodata/.

VIEIRA, A. S., OLIVEIRA, L. S., SOUZA, E. U. Assoreamento do rio Taquari – causas e consequências. *In:* XXII SBRH - Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 26 nov. – 12 dez. 2017. Florianópolis: Associação brasileira de recursos hídricos, 2017.

WEEB MAP. Represas na Bacia do Alto Paraguai (BAP). ArcGIS. Ecologia em ação. 2020. Disponível em: https://www.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?webmap=ef58538671604b838a9ed5e976b4e82f&extent=-65.0959,-23.684,-43.5627,-13.2819.

ZANCOPÉ, M. H. de C., FILHO, A. P., CARPI JÚNIOR, S. Anomalias no perfil longitudinal e migração dos meandros do rio Mogi Guaçu. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 10, n. 1, jan./jun. 2009. DOI: https://doi.org/10.20502/rbg.v10i1.115. Disponível em: https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/115/110. Acesso em: 15 out. 2022.

8. ANEXOS

Anexo A – Especificação das imagens escolhidas para as análises

Ano	Data	Cota Hidrográfica (ACIMA DO CÓRREGO GRANDE)	Landsat
1985	10/12/1985	95	5
1986	8/9/1986	99	5
1987	10/8/1987	111	5
1988	28/08/1988	92	5
1989	17/05/1989	s/dados	5
1990	18/08/1990	s/dados	5
1991	5/8/1991	s/dados	5
1992	10/10/1992	139	5
1993	14/11/1993	126	5
1994	13/08/1994	106	5
1995	4/11/1995	s/dados	5
1996	18/08/1996	99	5
1997	8/10/1997	95	5
1998	7/7/1998	108	5
1999	8/6/1999	118	5
2000	22/09/2000	94	5
2001	29/06/2001	87	5
2002	11/8/2002	80	5
2003	21/07/2003	101	5
2004	5/6/2004	128	5
2005	8/6/2005	83	5
2006	26/05/2006	145	5
2007	14/06/2007	82	5
2008	19/08/2008	56	5
2009	9/10/2009	70	5
2010	22/06/2010	75	5
2011	11/7/2011	67	5
2012	19/06/2012	84	7
2013	16/07/2013	71	8
2014	3/7/2014	84	8
2015	7/8/2015	90	8
2016	5/5/2016	108	8
2017	25/06/2017	71	8
2018	28/06/2018	75	8
2019	1/7/2019	86	8
2020	1/6/2020	68	8