



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS E ESCOLA DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

ISABELA ZINI DE OLIVEIRA

**A OPERAÇÃO DA UHE MANSO E A CONECTIVIDADE ENTRE
RIO E PLANÍCIE DO PANTANAL**

Porto Alegre

2024



ISABELA ZINI DE OLIVEIRA

A OPERAÇÃO DA UHE MANSO E A CONECTIVIDADE ENTRE RIO E PLANÍCIE DO PANTANAL

Trabalho de conclusão apresentado ao curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como parte dos requisitos para a obtenção do título de Engenheira Ambiental.

Orientador: Walter Collischonn

Porto Alegre
2024

CIP - Catalogação na Publicação

OLIVEIRA, ISABELA ZINI DE
A OPERAÇÃO DA UHE MANSO E A CONECTIVIDADE ENTRE RIO
E PLANÍCIE DO PANTANAL / ISABELA ZINI DE OLIVEIRA. --
2024.
68 f.
Orientador: WALTER COLLISCHONN.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto
de Pesquisas Hidráulicas, Curso de Engenharia
Ambiental, Porto Alegre, BR-RS, 2024.

1. Pantanal. 2. UHE Manso. 3. Conectividade
hidrológica. 4. Regularização de vazões. 5.
Ecohidrologia. I. COLLISCHONN, WALTER, orient. II.
Título.



ISABELA ZINI DE OLIVEIRA

A OPERAÇÃO DA UHE MANSO E A CONECTIVIDADE ENTRE RIO E PLANÍCIE DO PANTANAL

Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul defendido e aprovado em 15 de fevereiro de 2024 pela Comissão avaliadora constituída pelos examinadores:

Banca Examinadora:

.....
Prof. Dr. Walter Collischonn

.....
Dr. Pedro Frediani Jardim

.....
Dr. Juliana Andrade Campos



RESUMO

A Usina Hidrelétrica Manso, localizada no rio Manso, um dos formadores do rio Cuiabá, regulariza a vazão para a produção de energia elétrica e para controle de cheias na região urbana de Cuiabá e Várzea Grande. A forma de operação da Usina hidrelétrica (UHE) Manso tem sido alvo de críticas pelos possíveis impactos negativos sobre o ecossistema e outros usos da água, como pesca e turismo. Estes impactos negativos estariam relacionados à redução da conectividade e alterações hidrológicas entre o rio Cuiabá e sua planície de inundação na região de Barão do Melgaço, que marca a entrada do rio Cuiabá no Pantanal. A pesquisa realizada neste estudo visou compreender como a operação da UHE Manso afeta as cheias em Barão de Melgaço, além de avaliar como a redução das cheias em magnitude, duração e frequência, pode estar associada à redução da conectividade entre o rio Cuiabá e as lagoas da planície, em especial da Baía de Chacororé e da Baía de Sinhá Mariana. Por fim, o trabalho propôs e testou, através de simulação em um modelo hidrológico, uma nova forma de operação do reservatório, respeitando as características do fluxo natural e a conectividade do rio com a planície de inundação pantaneira, sem prejudicar a geração de energia da barragem. A análise realizada revela a possibilidade de ampliação do período de vazões altas em Barão de Melgaço por meio da liberação de vazões suplementares de 400 m³/s na UHE Manso, somente com capacidade de vazão turbinada, sem recorrer a liberações adicionais do vertedor.

Palavras-chave: Pantanal; UHE Manso; Conectividade hidrológica; Regularização de vazões; Rio Cuiabá; Ecohidrologia.



ABSTRACT

The Manso Hydroelectric Power Plant (HPP), located on the Manso River, one of the tributaries of the Cuiabá River, regulates flow for electricity generation and flood control in the urban area of Cuiabá and Várzea Grande. The operation of the Manso HPP has been criticized for potential negative impacts on the ecosystem and other water uses, such as fishing and tourism. These negative impacts might be related to the reduction of connectivity between the Cuiabá River and its floodplain in the Barão do Melgaço region, which marks the entrance of the Cuiabá River into the Pantanal. This research conducted aimed to understand how the operation of the Manso HPP affects floods in Barão de Melgaço, and to assess how the reduction in flood magnitude, duration, and frequency may be associated with the reduction of connectivity between the Cuiabá River and the lagoons of the floodplain, especially the Chacororé Bay and the Sinhá Mariana Bay. Finally, the study proposed and tested, through simulation in a hydrological model, a new reservoir operation method that respects the characteristics of natural flow and the river's connectivity with the Pantanal floodplain, without compromising the dam's energy generation. The analysis conducted reveals the possibility of extending the period of high flows in Barão de Melgaço through the release of additional flows of 400 m³/s at the Manso HPP, solely utilizing the capacity for turbine flow without resorting to additional spillway releases.

Keywords: Pantanal; Manso Hydroelectric Power Plant; Hydrological connectivity; Flow regulation; Cuiabá River; Ecohydrology.



LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Aproveitamentos hidrelétricos e navegação na Região Hidrográfica do Paraguai	16
Figura 3.2 – Aproveitamentos hidrelétricos e navegação na Região Hidrográfica do Paraguai	20
Figura 3.3 – Inter-relação entre as flutuações de nível do rio Cuiabá e os movimentos migratórios dos peixes – médias mensais 1976 a 1980	26
Figura 4.1 – Localização da área de estudo	32
Figura 5.1 - Fluxograma geral das etapas de realização da pesquisa	33
Figura 5.2 – Localização das estações fluviométricas	35
Figura 5.3 – Modelo Digital de Elevação.....	37
Figura 5.4 – Disponibilidade dos dados na estação fluviométrica Barão de Melgaço e critérios adotados na calibração e validação	45
Figura 5.5 – Seção transversal para representar o trecho entre Cuiabá e Barão de Melgaço (trecho 6). 47	
Figura 5.6 - Resultados dos hidrogramas para a simulação de calibração da Estação Barão de Melgaço (66280000)	49
Figura 5.7 - Resultados dos hidrogramas para a simulação de validação da Estação Barão de Melgaço (66280000)	52
Figura 5.8 – Exemplificação dos cenários utilizando os dados do ano de 2005 para comparar os hidrogramas na UHE Manso, local da condição de contorno de montante	55
Figura 6.1 – Resultados dos hidrogramas comparando as vazões suplementares com as vazões de simulação e observação da Estação Barão de Melgaço (66280000) em 2005.....	58
Figura 6.2 – Resultados dos hidrogramas comparando as vazões suplementares com as vazões de simulação e observação da Estação Barão de Melgaço (66280000) em 2015.....	58
Figura 6.3 – Resultados dos hidrogramas comparando as vazões suplementares com as vazões de simulação e observação da Estação Barão de Melgaço (66280000) em 2012.....	59



LISTA DE QUADROS

Quadro 5.1 – Dados das estações fluviométricas.....	34
Quadro 5.2 – Disponibilidade de dados das estações fluviométricas.....	36
Quadro 5.3 – Características do curso d'água.....	38
Quadro 5.4 – Largura	39
Quadro 5.5 – Resultados dos coeficientes de eficiência de Nash-Shutfliffe para as simulações de calibração das estações	47
Quadro 6.1 – Resultados das simulações com vazões suplementares para os períodos com vazões máximas menores que 1000 m ³ /s e comparação com a vazão naturalizada do rio Manso.....	57



LISTA DE SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
BAP	Bacia do Alto Paraguai
CFP	Coordenadoria de Fiscalização de Pesca
FABDEM	<i>Forest And Buildings Removed Copernicus DEM</i>
HEC-HMS	<i>Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MDE	Modelo Digital de Elevação
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
SAR	Sistema de Acompanhamento de Reservatórios
SNISB	Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens
UHE	Usina Hidrelétrica
UNEMAT	Universidade do Estado de Mato Grosso



SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	14
2.1	OBJETIVO GERAL	14
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1	BARRAGENS NA BACIA DO ALTO PARAGUAI	15
3.2	OPERAÇÃO DA UHE E IMPACTOS ASSOCIADOS	18
3.3	PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO	22
3.3.1	<i>Conectividade hidrológica</i>	24
3.3.2	<i>Migração dos peixes</i>	25
3.4	MODELAGEM MATEMÁTICA DE CORPOS HÍDRICOS COM SOFTWARE HEC-HMS	27
3.4.1	<i>O modelo HEC-HMS</i>	28
4	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	30
5	MATERIAIS E MÉTODOS	33
5.1	DADOS DE ENTRADA	34
5.1.1	<i>Vazões</i>	34
5.1.2	<i>Modelo Digital de Elevação</i>	37
5.1.3	<i>Características do curso d'água</i>	38
5.1.3.1	<i>Comprimento</i>	38
5.1.3.2	<i>Largura</i>	38
5.1.3.3	<i>Declividade</i>	39
5.2	MÉTODO DE PROPAGAÇÃO DE CHEIA MUSKINGUM-CUNGE	39
5.3	CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO	41
5.3.1	<i>Crterios de escolha dos dados de vazão para a calibração e a validação</i>	43
5.3.2	<i>Calibração</i>	46
5.3.3	<i>Validação</i>	50
5.4	CENÁRIOS	53
5.4.1	<i>Cenário 1: vazão naturalizada</i>	53
5.4.2	<i>Cenário 2: vazão defluente operada</i>	53
5.4.3	<i>Cenário 3 e 4: vazão defluente modificada</i>	53
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	56
7	CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES	60



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62
APÊNDICE	68

1. INTRODUÇÃO

O Pantanal brasileiro é o maior ecossistema de zonas úmidas de água doce do mundo. Esse bioma foi declarado como Reserva da Biosfera pela UNESCO em 2000 devido às suas particularidades tipicamente regionais, as quais constituem uma das mais exuberantes e diversificadas reservas naturais do planeta (UNESCO, 2023). A grande biodiversidade existente no Pantanal está relacionada à sua dinâmica de inundações periódicas. Devido ao seu regime hidrológico sazonal, em que mais de 70% das chuvas estão concentradas no período chuvoso (outubro-abril), o Pantanal sofre inundações periódicas todos os anos. As inundações acontecem com alguns meses de atraso em relação às chuvas devido ao relevo extremamente plano, que leva a uma resposta lenta da bacia. Esse processo anual de enchente e vazante da planície de inundação é conhecido como pulso de inundação.

Em relação à hidrografia da Bacia do Alto Paraguai (BAP), um dos principais afluentes é o rio Cuiabá, o qual é o segundo rio mais importante em termos de vazão e o mais importante em termos de contribuição de sedimentos para a planície do pantanal norte. A sub-bacia do rio Cuiabá é a mais populosa dentre as sub-bacias da BAP, portanto o rio Cuiabá é um manancial alvo de diversos conflitos pelos usos da água. Em 2000, no rio Manso, que se enquadra como um dos principais contribuições laterais do rio Cuiabá, começou a operação da UHE Manso, a qual foi projetada para atender ao conceito de usos múltiplos de reservatório, entre eles a de regularização dos ciclos de cheias e secas do rio Cuiabá, contribuindo para reduzir os danos socioeconômicos na zona urbana de Cuiabá e Várzea Grande devido aos problemas decorrentes de inundações ribeirinhas nessa região (FURNAS, 2023).

Após o início da operação, os estudos de Sousa *et al.* (2009), Zeilhofer e de Moura (2009) e Jardim *et al.* (2020) apontaram alterações hidrológicas causadas pela barragem. Entre as principais alterações, destacam-se o retardamento do enchimento da planície pantaneira nos meses de novembro e dezembro e a antecipação do período de vazante nos meses de março e abril.

Além de aumentar a vazão no período de seca, compreendido pelos meses de maio a outubro.

A mudança no regime hidrológico acarreta diversos impactos, visto que a fauna e a flora estão adaptadas a previsibilidade dos pulsos de inundação. Nos últimos anos, Barão de Melgaço, município localizado a 120 km de Cuiabá no Pantanal Mato-Grossense, está tendo as suas atividades de pesca e turismo afetadas por causa da redução drástica dos níveis das Lagoas de Chacororé e Sinhá Mariana. Uma das possíveis causas levantadas é a influência da UHE Manso em virtude da regularização de vazão, conforme indicado na nota técnica da Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT) (UNEMAT, 2021).

Para mitigar esse tipo de impacto, uma alternativa seria a proposição de uma regra de operação para a barragem de Manso que otimize tanto a redução das cheias urbanas e a geração de energia, quanto a manutenção da conectividade entre rio e planície de inundação, especialmente nos períodos em que tais ligações são mais importantes (Jardim *et al.*, 2020). Dessa forma, o presente trabalho tem o objetivo de avaliar as vazões do rio Cuiabá em Barão de Melgaço, e propor e testar uma nova operação para a UHE Manso, de forma que as vazões do rio Cuiabá possam se aproximar mais das suas vazões naturais nos meses de cheia, permitindo uma melhor manutenção da conectividade entre o rio e a planície, e minimizando os impactos negativos da UHE Manso.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral do estudo é avaliar e testar, mediante simulação em um modelo hidrológico, uma nova forma de operação do reservatório da UHE Manso durante os períodos de cheias, de forma a aproximar as vazões regularizadas das vazões naturais, sem prejudicar a geração de energia da barragem e favorecer a manutenção da conectividade do rio com a planície de inundação nos meses de cheia.

2.2 Objetivos específicos

Para atender ao objetivo geral do estudo, determinou-se os seguintes objetivos específicos:

- Fazer uma revisão de literatura acerca da conectividade entre o rio Cuiabá e sua planície de inundação no Pantanal e identificar os possíveis impactos causados pela regularização de Manso no ecossistema e na biodiversidade local;
- Obter dados observados de vazão em estações fluviométricas ao longo do rio Cuiabá e na barragem de Manso, bem como dados de vazões naturalizadas;
- Calibrar e validar o modelo hidrológico HEC-HMS para propagação de vazões pelo método Muskingum-Cunge, até o trecho do rio Cuiabá em Barão de Melgaço;
- Definir cenários de operação do reservatório da UHE Manso que possam aproximar as vazões regularizadas das vazões naturais durante os períodos de cheia no trecho de Barão de Melgaço.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

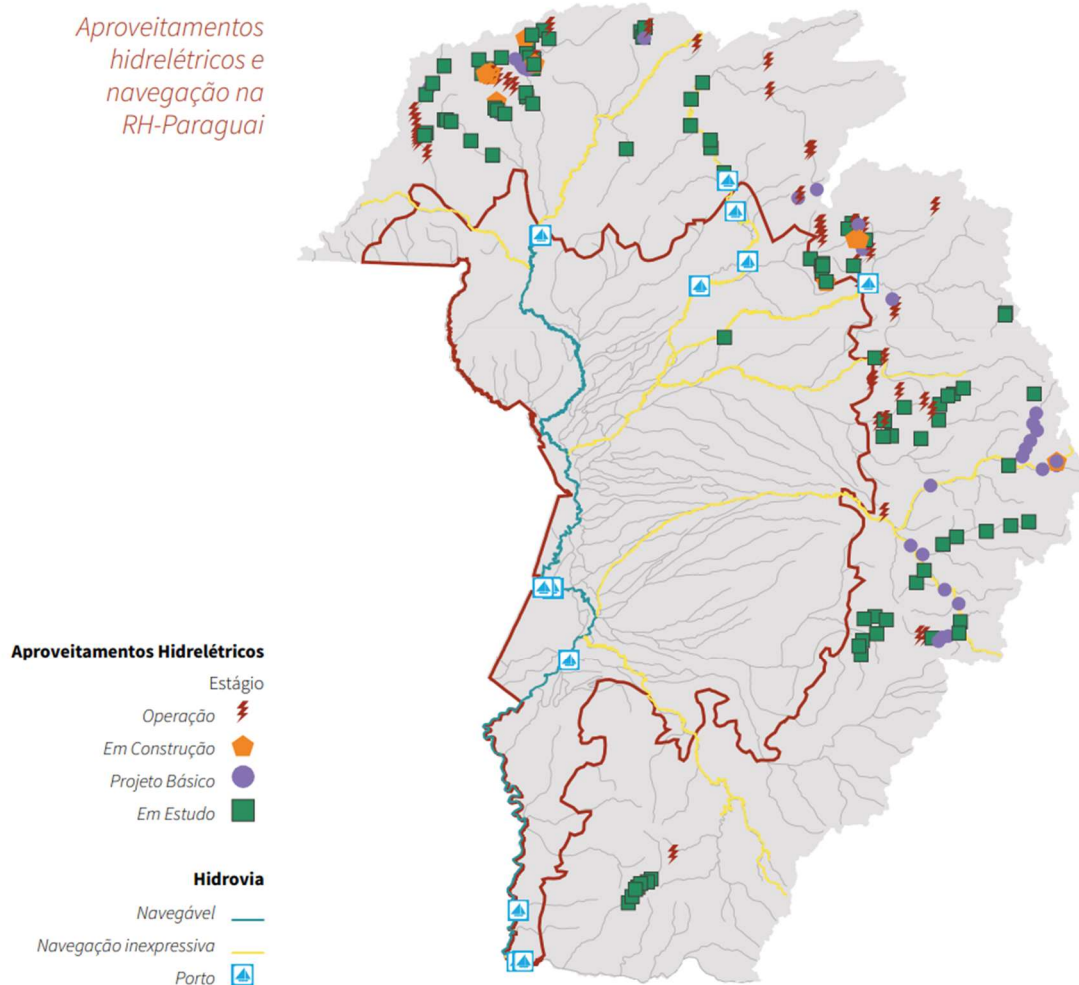
Nesse item serão apresentados os principais conceitos e termos relacionados ao desenvolvimento do trabalho. A revisão bibliográfica está separada em quatro temas principais: Barragens (item 3.1), Operação da UHE e impactos associados (item 3.2), Planície de inundação (item 3.3) e Modelagem matemática de corpos hídricos com *software* HEC-HMS (item 3.4).

3.1 Barragens na Bacia do Alto Paraguai

As barragens são estruturas artificiais geralmente construídas em cursos hídricos com a finalidade de reserva e regulação hídrica, controle de cheias, geração de hidroeletricidade, usos para fins industriais, retenção de rejeitos de mineração, melhoria da navegação, entre outros, conforme apontado pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) (ANA, 2023). Atualmente há 25.687 barragens cadastradas no Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB), sendo que 728 estão no Mato Grosso (SNISB, 2023).

O rio Paraguai é o curso d'água basilar da Bacia do Alto Paraguai (BAP), o qual percorre nos países Brasil, Bolívia, Paraguai e Argentina e têm a sua nascente em Mato Grosso. Na Região Hidrográfica do Paraguai, existem 53 aproveitamentos hidrelétricos, sendo sete UHEs, 16 Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGHs) e 30 Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs). Há ainda a previsão de instalação de 127 novos empreendimentos (ANA, 2018), conforme pode ser observado na Figura 3.1.

Figura 3.1 – Aproveitamentos hidrelétricos e navegação na Região Hidrográfica do Paraguai



Fonte: ANA (2018).

Dentre as usinas existentes na BAP, salientam-se quatro: Manso, Itiquira, Ponte de Pedra e Jauru. A UHE Manso se destaca por ser a única com reservatório, enquanto as outras são usinas a fio d'água (SAR, 2023). Teoricamente, a diferença entre uma usina do tipo com reservatório para uma a fio d'água é que a usina fio d'água tem como característica “um pequeno reservatório, que opera praticamente em níveis constantes, admitindo pequenas flutuações devido a requisitos de variação de produção de energia, não havendo armazenamento de água” (FURNAS, 2005).

Em contrapartida, a usina com reservatório opera com acumulação de água. Entretanto, na prática adotada no Brasil, usinas com volume útil suficiente para regularização até a escala temporal diária ou semanal vêm sendo classificadas como a fio d'água. Isto significa que muitas das usinas classificadas

como fio d'água no Brasil são capazes de gerar algum grau de alteração no regime hidrológico de um rio (Jardim; Collischonn, 2024).

Entretanto, apesar dos benefícios das barragens, há diversos impactos nocivos a montante e a jusante do barramento. Entre os efeitos a montante, cita-se a obstrução das rotas de migração dos peixes e a retenção de sedimentos transportados pela água, além da modificação da extensão das cheias e da carga de nutrientes com a regularização do fluxo do rio (Nilsson; Berggren, 2000). Entre os efeitos a jusante, destacam-se a alteração do regime de fluxo para jusante, reduzindo ou aumentando, modificando a sazonalidade, alterando a frequência, duração, magnitude, tempo, previsibilidade e variabilidades dos eventos (Zeilhofer; Moura, 2008). Em um ambiente como Pantanal, em que os pulsos de inundação regem o seu funcionamento ecológico, a fragmentação de rios e a mudança do fluxo dinâmico de suas águas e da periodicidade sazonal causam impactos ainda maiores para esse sistema.

No rio Manso, principal afluente do rio Cuiabá, a UHE Manso opera com potência instalada de 210 MW. A usina foi projetada para atender ao conceito de usos múltiplos de reservatório, entre eles o de regularização dos ciclos de cheias e secas do rio Cuiabá, contribuindo para reduzir os danos socioeconômicos (FURNAS, 2023). No entanto, estudos recentes sugerem que as atividades de pesca e turismo da região de Barão de Melgaço estão sendo afetadas pela redução drástica dos níveis das Lagoas Chacororé e Sinhá Mariana. Uma das possíveis causas levantadas é a influência da UHE Manso em virtude da regularização de vazão (UNEMAT, 2021). Em virtude disso, a Promotoria de Justiça solicitou ao Centro de Apoio Técnico à Execução Ambiental do Ministério Público de Mato Grosso uma perícia no local. Tanto na Nota técnica da UNEMAT quanto na literatura, há indícios comprovando a influência de Manso no regime de vazões do rio Cuiabá.

Em suma, mesmo que a operação de barragens seja essencial para a nossa matriz energética e para diversos outros fins, como industrial, agrícola e social, e no caso da UHE manso, para o controle das inundações ribeirinhas na região urbana de Cuiabá e Várzea Grande, é imprescindível aprofundar as pesquisas sobre os impactos negativos das barragens, principalmente após a

sua construção. Na situação do conflito entre a geração de energia elétrica, o controle de cheias e o atendimento às demandas do ecossistema podem ser buscadas formas de operação que sejam satisfatórias sob todos os pontos de vista, e que não maximizem o benefício de um uso em detrimento do outro. Nesse sentido, a relação atual da UHE Manso e as vazões do rio Cuiabá apresentam-se como um excelente estudo de caso para busca de uma melhor operação do barramento.

3.2 Operação da UHE e impactos associados

A Usina Hidrelétrica (UHE) Manso é uma usina com barramento e quatro turbinas, as quais têm capacidade de engolimento de vazão de 105 m³/s e potência nominal de 52,5 MW por turbina. Totalizando, assim, 420 m³/s e 210 MW na sua operação máxima (Moura *et al.*, 2007). Ainda, o nível operacional mínimo é de 278 m e o máximo é de 287 m. Em relação ao histórico da hidrelétrica, o reservatório da barragem de Manso começou a ser enchido em novembro de 1999 e a barragem entrou em operação em novembro de 2000 (FURNAS, 2002). Devido a precipitações inferiores ao esperado, o enchimento completo do reservatório ocorreu apenas em fevereiro de 2002.

A vazão afluyente da UHE manso vem do rio Manso. A vazão defluente, que é a descarga que sai da estrutura hidráulica, é aumentada ou diminuída em relação à vazão natural do curso d'água, a depender do interesse do empreendimento e das condições hidrológicas em determinados momentos. Uma das propostas da operação da UHE Manso é a redução da variabilidade temporal da vazão, ou seja, em casos de excesso de água, há o acúmulo no reservatório, enquanto nos períodos de estiagem a água é liberada. Esse procedimento é denominado regularização da vazão (Collischonn; Dornelles, 2015). Com a operação de Manso, iniciou um novo regime hídrico na bacia do rio Cuiabá, que passou a refletir as demandas resultantes das regras operacionais do sistema energético conflitando com a dinâmica do Pantanal (Moura *et al.*, 2007).

Segundo a avaliação de Moura *et al.* (2007), ocorreram mudanças significativas no regime hidrológico do rio Cuiabá após a construção da UHE Manso. Entre as principais alterações, destacam-se o retardamento do enchimento da planície pantaneira nos meses de novembro e dezembro e a antecipação do período de vazante nos meses de março e abril, por causa da diminuição da vazão média em ambas. Além de aumentar a vazão média no período de seca, compreendido pelos meses de maio a outubro.

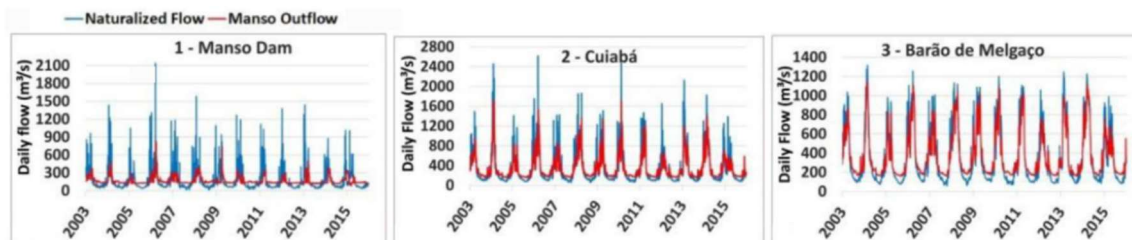
Zeilhofer e Moura (2009) analisaram as vazões a jusante da barragem e verificaram que a operação da UHE Manso aumentou as descargas na estação seca, cerca de 100 m³/s para 150 m³/s. Avaliando os dados entre 2002 e 2005, os autores verificaram que, em novembro e dezembro, período inicial da cheia, ocorreu a redução da descarga de 258,5 m³/s para 232,4 m³/s e 448,7 m³/s para 331,6 m³/s respectivamente. Assim, correspondendo a uma redução de 10% e 24% respectivamente, o que retarda a inundação das planícies aluviais. No fim da estação de cheia, constatou-se uma diminuição média da descarga de cerca de 8% em março e 12% em abril, provocando a antecipação da seca. De modo geral, pode-se dizer que as alterações no regime de escoamento do rio Cuiabá provocadas pela usina foram expressivas do início ao final do período seco, enquanto as modificações durante o período chuvoso foram mais modestas, entretanto, diminuindo a magnitude, frequência e duração das mesmas (Zeilhofer; Moura, 2009).

Da mesma forma que Zeilhofer e Moura (2009), Jardim *et al.* (2020) analisaram o impacto do regime hidrológico em virtude da UHE Manso, entretanto utilizando uma série de dados mais extensa das vazões do rio Cuiabá (de 2003 a 2015). Os autores, de forma inovadora, demonstraram as mudanças no regime hidrológico causadas pela operação da barragem de Manso, por meio da modelagem matemática combinando o modelo hidrológico de grande escala MGB com o modelo de zonas úmidas de grande escala SIRIPLAN. Os resultados do estudo mostraram que a UHE Manso diminui vazões altas, aumenta vazões baixas e reduz conectividade lateral. A montante da planície de inundação do Pantanal, na região em torno de Barão de Melgaço, é mais influenciada pela

diminuição nas vazões altas, enquanto o aumento nas vazões baixas se estende a regiões mais a jusante da planície pantaneira.

As avaliações de Jardim *et al.* (2020) apontaram que as alterações mais significativas tendem a ocorrer nas vazões mínimas. Em Barão de Melgaço, o hidrograma mostra um aumento de cerca 90 m³/s no cenário sem operação da barragem para cerca de 165 m³/s no cenário com operação da barragem. Por outro lado, as alterações nos picos máximos são menos expressivas. As vazões máximas em Barão de Melgaço estão entre 980 e 1.315 m³/s no cenário sem operação da barragem e caem para cerca de 750 e 1.140 m³/s nos mesmos eventos no cenário com operação da barragem. Isso ocorre devido à atenuação natural dos picos maiores pelo extravasamento do rio para as várzeas, principalmente por meio de corixos, à medida que a onda de cheia se desloca de Cuiabá para Barão de Melgaço (Jardim *et al.*, 2020). A Figura 3.2 demonstra o efeito da mudança das vazões máximas e mínimas e os gráficos apresentam as modificações das vazões em três locais: 1) UHE Manso, 2) Cuiabá e 3) Barão de Melgaço. Ainda a linha azul representa o hidrograma da vazão naturalizada e a linha vermelha da vazão regularizada pela UHE Manso.

Figura 3.2 – Aproveitamentos hidrelétricos e navegação na Região Hidrográfica do Paraguai



Fonte: Jardim *et al.* (2020).

Em virtude da diminuição das vazões máximas por causa da operação da barragem de Manso, a magnitude do pulso de inundação é diminuída ao longo do trecho em que o rio Cuiabá adentra o Pantanal, na região entre os municípios Cuiabá e Barão de Melgaço. Portanto, por consequência da redução da intensidade dos transbordamentos do rio, a conectividade entre rio e planície de inundação pode ser enfraquecida, impactando no fluxo de sedimentos e nutrientes, além da reprodução da ictiofauna e de outras espécies (Jardim *et al.*, 2020).

Após a avaliação de uma série temporal de 68 anos, Zeilhofer e Moura (2009) propuseram duas alternativas de reoperação, as quais não reduziram o balanço de geração de energia, mas possivelmente garantiriam o transbordamento dos rios durante os meses de cheia, novembro a maio, minimizando o impacto nas funções ecológicas da planície de inundação.

Conforme abordado por Mitsch e Jorgensen (2003), a engenharia ecológica busca propor maneiras de mitigação de impactos, como os causados pela construção de hidrelétricas, buscando restaurar as condições naturais do ecossistema afetado. Essa abordagem fundamenta-se no conceito central da engenharia ecológica: integração entre os sistemas naturais e construídos, bem como a consideração dos processos ecológicos nos projetos de engenharia. Ao aproximar o regime hidrológico prévio à operação, espera-se que a dinâmica do fluxo e a conexão do rio com a planície alagável possam restabelecer os benefícios ecológicos e sociais do ecossistema.

As propostas de novos esquemas de operação de Zeilhofer e Moura (2009) são orientadas por uma análise da produção histórica de energia da UHE Manso. Segundo os autores, uma operação ecologicamente sustentável deve garantir um escoamento igual ou superior às médias de longo prazo nos meses de novembro e dezembro, suficiente para inundar as várzeas do rio Pantanal e dar acesso à ictiofauna aos seus locais de alimentação. Por sua vez, durante os meses de junho a outubro, deve-se adotar um volume mínimo de escoamento.

Durante o período de seca (junho a outubro), a proposta de operação dos autores é de duas turbinas com 60% da capacidade, resultando em uma vazão de 126 m³/s, que é considerada por FURNAS como o limite inferior para a operação economicamente sustentável da usina (FURNAS, 2000). Esta redução na vazão da barragem causaria uma perda de energia, em média, entre 9,8 MW (agosto) e 18,5 MW (setembro) durante a estação seca. A redução proposta do fluxo de saída durante a estação seca proporcionaria uma reserva para garantir as metas de vazão defluente em novembro e dezembro.

Em novembro, os pesquisadores sugeriram a operação de duas turbinas, utilizando cerca de 80% de sua capacidade, representando uma vazão de 166

m^3/s . Em um segundo cenário, a vazão é demasiadamente aumentada para $252 m^3/s$, o que garantiria inundações expressivas no norte do Pantanal a partir do início da estação chuvosa. Em dezembro, a proposta é de três turbinas operando a 84%, liberando uma vazão de $264 m^3/s$.

Entre janeiro e abril, a proposição é da operação de duas turbinas com capacidade de 90%. Uma exceção nesse período é a vazão indicada para março, em que a proposta é de três (03) turbinas operando a 80%. Com altas precipitações em março, o reservatório atinge elevados níveis de água, o aumento sustentaria uma maior e mais extensa inundação nas planícies aluviais durante março e abril. Em maio, início da estação seca, a vazão da barragem poderá ser reduzida para $168 m^3/s$, com duas turbinas operando a 80%.

De forma geral, observa-se que a operação da UHE Manso impactou as vazões do rio Cuiabá e a conectividade lateral com a sua planície de inundação. Durante a ocorrência das vazões máximas, a UHE Manso influenciou para a diminuição dos picos, enquanto, no período de seca, a vazão média aumentou. Tais mudanças podem alterar as dinâmicas do ecossistema e das espécies presentes tanto na planície de inundação quanto na calha do rio. Para a mudança desse cenário, é necessária uma alteração na operação do reservatório para que se aproxime da dinâmica natural. Com esse propósito, é imprescindível abordar o problema embasado nos princípios da engenharia ecológica, reduzindo, assim, os impactos a jusante e preservando as características do fluxo natural e a conectividade do rio com a planície de inundação.

3.3 Planície de inundação

A planície de inundação é uma área de terreno plano adjacente a um curso d'água, como um rio, que periodicamente inunda durante eventos de cheias. Essas inundações ocorrem quando o nível da água no corpo d'água aumenta significativamente, atingindo o limite da calha do rio e transbordando a água para as margens. Para Fantin-Cruz *et al.* (2009), planícies de inundação são marcadas pela alta complexidade estrutural, refletida por um mosaico

paisagístico e funcional decorrente das drásticas modificações sazonais as quais o sistema é submetido periodicamente.

Para Junk *et al.* (1989), planícies aluviais são definidas como áreas que são periodicamente inundadas pelo transbordamento lateral de rios ou lagos. O ambiente resultante faz com que a biota responda com características específicas. Os autores em questão foram os idealizadores do conceito *pulso de inundação*, que é “a principal força motriz responsável pela existência, produtividade e interações da principal biota nos sistemas fluviais-planície de inundação” (Junk *et al.*, 1989).

As planícies de inundação possuem fauna e flora adaptadas para os diferentes períodos pluviométricos e fluviométricos durante o ano, tendo duas fases características: terrestre (seca) e aquática (cheia). Em comparação com áreas permanentemente inundadas ou no canal do rio, há uma maior produção pesqueira nos locais em que ocorrem os pulsos de inundação. Decorre-se tal fato, pois, no processo de cheia, a vegetação das áreas inundadas fica encoberta e parte dessa vegetação morre e se decompõe formando detritos orgânicos, os quais são fonte de alimento dos peixes detritívoros (Resende, 2005).

Além disso, uma parte das plantas retém os sedimentos e matéria orgânica dissolvida, servindo como local para o desenvolvimento de algas e micro-organismos. Em contrapartida, no estrato superficial, as macrófitas aquáticas auxiliam no desenvolvimento de comunidades de insetos aquáticos, os quais, por sua vez, são alimento para os peixes. Assim, o período de cheia viabiliza alimentação e abrigo para ictiofauna local, que é base da cadeia alimentar. Na fase seca, há novamente o crescimento da vegetação terrestre, a qual é beneficiada pelos nutrientes provenientes da inundação (Resende, 2005). À vista disso, a incorporação e aproveitamento da matéria orgânica de forma eficiente justifica a riqueza e a produtividade dos rios de planícies inundáveis, característica do Pantanal Mato-grossense.

A mudança desse regime hidrológico acarreta grandes perdas ambientais e econômicas. Em setembro de 2003, o aumento do nível de água de forma extemporânea em virtude da liberação de água da represa de Manso ocasionou

distúrbios às comunidades aquáticas. A subida anormal da água provocou o desaparecimento dos peixes na região nos meses subsequentes e mortandade de ovos de aves nas praias do rio Cuiabá (Resende, 2005). Ainda, a elevação do nível da água fora do período natural surpreende o gado acarretando prejuízos à pecuária, uma das principais atividades econômicas da região (Zeilhofer; Moura, 2009).

Portanto, o comportamento espacial e temporal do regime de inundações está diretamente relacionado às atividades das espécies da fauna e da flora. Logo, a mudança dos pulsos de inundação pode afetar drasticamente a quantidade de espécimes e a biodiversidade local, acarretando impactos econômicos, sociais e ambientais.

3.3.1 Conectividade hidrológica

A conectividade representa o livre transporte de matéria, energia ou organismos dentro e entre elementos do ciclo hidrológico (Coelho, 2020). A determinação do grau da conectividade entre rio e sua planície é regida pela variação na magnitude das cheias, a qual também impulsiona a transferência de matéria orgânica, nutrientes e organismos (Fantin-Cruz *et al.*, 2011). Posto isso, os pulsos de inundação são de grande importância ecológica, sendo a sua magnitude, duração e frequência parâmetros que afetam a variação espacial e temporal das propriedades do local (Junk *et al.*, 1989).

Girard *et al.* (2010) observaram que no norte da planície pantaneira, a dinâmica entre rio e planície de inundação nem sempre é contínua, tendo em vista que o transbordamento da água é influenciado por diversos fatores, como a topografia, a resistência do fluxo da água pela vegetação, a distância do rio e rotas de fluxo preferenciais. Quanto à interação rio-planície de inundação na região em que o rio Cuiabá adentra o Pantanal, Jardim *et al.* (2020) salienta que tal relação foi drasticamente atingida pela operação da UHE Manso. Isto é, a redução das vazões máximas diminuiu a magnitude do pulso de inundação, reduzindo a conectividade lateral da água.

As baías Chacororé e Sinhá Mariana, localizadas na margem esquerda do rio Cuiabá, estão constantemente conectadas ao rio, perdendo a comunicação apenas em condições de seca extrema (Fugi *et al.*, 2007). A lagoa Sinhá Mariana recebe uma contribuição maior das águas do Rio Mutum, por ser uma continuidade deste rio. Ao passo que a conexão da lagoa de Chacororé com o rio Cuiabá é feita por meio de corixos, que são pequenos cursos de água de conexão entre baía e rio (Silva, 1985). No período de cheia, a água corre diretamente pelo corixo Mané Isaac até o rio Cuiabá e a conexão entre a baía Chacororé e a Sinhá Mariana é pelo corixo do Mato (Fausto *et al.*, 2015).

À vista disso, a regularização causada por uma barragem, como é o caso da UHE Manso, pode ocasionar mudanças no regime fluvial e influenciar a conectividade lateral entre o rio e a planície a jusante dessas estruturas. No caso do Pantanal, em que a drenagem é extremamente complexa, em virtude dos seus canais secundários e constante mudança do canal do rio, a redução da conectividade lateral pode influenciar na comunicação com as baías, principalmente as menores, conseqüentemente impactando no fluxo das espécies. Destaca-se também a difícil previsibilidade desses impactos, posto que há poucos estudos aprofundados na região.

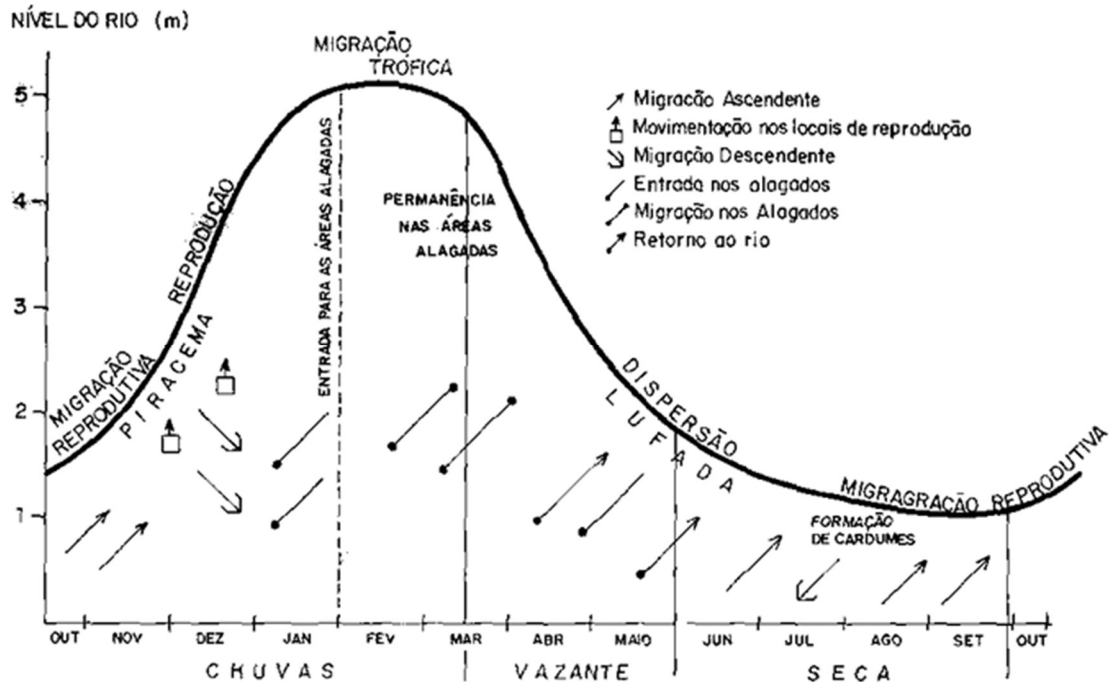
3.3.2 Migração dos peixes

Os principais movimentos migratórios de peixes no Pantanal Matogrossense são denominados *piracema* e *lufada*. Durante o período de seca (maio a outubro), os adultos se movimentam rio acima e, quando o nível começa a subir (novembro e dezembro), ocorre a reprodução dos peixes, que é a *piracema*. Após a reprodução, os peixes reprodutores penetram nas áreas permanentemente alagadas.

Quando cessam as chuvas, no final de março e início de abril, os peixes adultos bem alimentados retornam ao rio, ou seja, ocorre a migração lateral para o ambiente lótico, comportamento denominado de *lufada*. Neste momento, os jovens realizam o movimento inverso, migração lateral para o ambiente lêntico, chamado de baías, local que se completa a primeira fase de crescimento dos

peixes migradores (Moura; Val, 2019; Lima, 1986), conforme demonstrado na Figura 3.3.

Figura 3.3 – Inter-relação entre as flutuações de nível do rio Cuiabá e os movimentos migratórios dos peixes – médias mensais 1976 a 1980



Fonte: Lima (1986).

No Pantanal, as flutuações do nível da água são a maior influência nos movimentos migratórios em peixes, pois há um aumento nas áreas de alimentação e abrigo. Ainda, as condições desfavoráveis em determinadas épocas do ano motivam algumas espécies a abandonar um ambiente e a invadir outro com características ambientais distintas, mas que possibilitam uma maior taxa de sobrevivência a longo prazo (Moura; Val, 2019).

Moura e Val (2019) realizaram um estudo sobre a migração lateral dos peixes no corixo Mane Isaac, que conecta o rio Cuiabá à Lagoa de Chacororé. A partir da análise das coletas de peixes, as quais foram realizadas no período entre abril e dezembro, verificou-se que as maiores capturas foram no sentido de movimentação baía-rio durante os meses de abril a junho (vazante), enquanto, durante a enchente (outubro a dezembro), a tendência de movimentação dos peixes foi rio-baía.

Além da problemática da alteração do regime hidrológico, afetando a reprodução e sobrevivência da ictiofauna pantaneira, há a pesca predatória na região. Conforme relatado em Sousa *et al.* (2008), espécies de peixes foram capturadas de forma irregular nas bacias de Chacororé e Sinhá Mariana no Pantanal Mato-grossense. Entre os municípios com maiores casos notificados de apreensões de pescado, está Barão de Melgaço, em que foram apreendidos 2.713 kg entre 2005 e 2007 (Sousa *et al.*, 2008).

Segundo o relatório das ações realizadas pela Coordenadoria de Fiscalização de Pesca (CFP) de Mato Grosso, no período da piracema de 2006 a 2007, os pescados, com origem das baias de Chacororé e Sinhá Mariana, foram apreendidos nos centros consumidores, que são os municípios de Cuiabá, Santo Antônio do Leverger e Várzea Grande, em Mato Grosso. Nos meses da piracema, ocorreram as maiores apreensões de pescado justamente por causa do aumento da fiscalização (Sousa *et al.*, 2008).

Observa-se, diante do citado resultado, que a produção pesqueira do rio Cuiabá é sustentada pela captura e comercialização de peixes migradores, que dependem da conectividade lateral entre o rio e a planície para sua reprodução. Com a mudança do regime hidrológico imposta pela regularização das vazões, esta produção pode ser drasticamente afetada, causando prejuízos econômicos.

3.4 Modelagem matemática de corpos hídricos com software HEC-HMS

A modelagem matemática é o processo de criação de modelos matemáticos para representar um sistema físico, um fenômeno natural ou qualquer processo que possa ser quantificado. Os modelos matemáticos são essencialmente representações simplificadas da realidade, construídas com base em equações matemáticas que descrevem o comportamento do sistema em estudo (Popescu, 2014). A modelagem matemática é uma ferramenta usada em diversas áreas, incluindo a engenharia.

A modelagem matemática desempenha um papel crucial na gestão de recursos hídricos (Fan *et al.*, 2015). Ela é usada para simular e prever o comportamento dos sistemas hidrológicos, tais como rios, bacias hidrográficas,

aquíferos e reservatórios. Ao aplicar a modelagem matemática em recursos hídricos, é possível compreender melhor a interação entre os diferentes componentes do sistema e avaliar o impacto de diversas intervenções e mudanças ambientais.

Alguns dos usos comuns da modelagem matemática em recursos hídricos incluem previsão de enchentes e secas, avaliação da qualidade da água, otimização de sistemas de abastecimento de água, planejamento de obras hidráulicas como barragens e diques, análise de riscos de poluição e gestão de recursos hídricos em geral. Esses modelos ajudam os especialistas a decidirem sobre o gerenciamento sustentável e a conservação dos recursos hídricos. Entretanto, destaca-se que a modelagem matemática não é uma representação fidedigna da realidade, pois são necessárias diversas simplificações para demonstrar os sistemas reais.

3.4.1 O modelo HEC-HMS

O *Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System* (HEC-HMS) é um sistema de modelagem desenvolvido pelo Centro de Engenharia Hidráulica dos Estados Unidos. O modelo foi projetado com o intuito de solucionar diversos problemas de engenharia e é uma ferramenta de simulação hidrológica dos processos de transformação de chuva em vazão. O design do modelo permite desenhar apenas bacias hidrográficas dendríticas, ou seja, cada elemento hidrológico tem apenas uma ligação a jusante. Além disso, a discretização da bacia é em sub-bacias (USACE, 2022).

O programa gera hidrogramas, que podem ser utilizados diretamente ou em conjunto com outros *softwares* para diversos estudos como disponibilidade de água, previsão de vazão, projeto de vertedouro de reservatório, regulação de planície de inundação e outras opções. Ainda há a possibilidade de estimar o escoamento superficial por meio de modelos tradicionalmente utilizados em hidrologia, como o modelo Muskingum-Cunge, o qual será utilizado nesse estudo, e Onda Cinemática (USACE, 2022).

O modelo é construído separando o ciclo hidrológico em diversas partes. Os fluxos de massa ou energia no ciclo podem ser representados com um modelo matemático, em que estão disponíveis várias opções de representação. Cada modelo é adequado para cada ambiente e situação, dessa forma cabe ao usuário definir os melhores equacionamentos para representar o seu problema.

A versão utilizada nesse estudo foi a versão principal 4.10, que focou em recursos de computação e integração de uma estrutura GIS. A interface gráfica permitiu uma melhor integração com o usuário, com etapas de representação esquemática de delineamento de bacias e trechos, bem como melhor discretização e visualização dos elementos, assim facilitando o uso do *software* (Maia *et al.*, 2021).

Como qualquer programa, o HEC-HMS possui limitações devido às escolhas feitas no projeto e desenvolvimento do *software*. No caso do programa utilizado, as limitações são devidas a dois aspectos: formulação simplificada do modelo e representação simplificada do fluxo. A simplificação da formulação do modelo permite uma rápida conclusão das simulações, concomitante com a produção de resultados precisos e exatos. Outrossim, a representação do fluxo simplificada auxilia na eficiência e fluidez do processo (USACE, 2022). Para esse estudo, essas limitações vão influenciar principalmente na representação do fluxo na planície de inundação pantaneira.

Isto posto, o presente estudo tem o intuito de, por meio da modelagem matemática, representar de maneira simplificada e prelimitar o comportamento das vazões do rio Cuiabá em Barão de Melgaço. Dessa forma, auxiliando na compreensão da influência da UHE Manso nos picos máximos e mínimos do pulso de inundação. Ainda, o *software* irá auxiliar na elaboração de uma nova proposta de operação para a barragem nos períodos de cheia, mantendo a semelhança ao fluxo natural do rio na região de interesse.

4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do Rio Cuiabá abrange uma área de drenagem igual a 22.851,10 km², localiza-se integralmente no Estado do Mato Grosso, no quadrilátero formado pelas coordenadas geográficas de 14°10' e 15°50' de latitude sul e 54°38' e 57°00' de longitude oeste. O clima incidente na Bacia Hidrográfica, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo AW – Tropical Chuvoso.

A precipitação média anual é de 1.335 mm, com regime sazonal tipicamente tropical, com distribuição não homogênea. O regime de precipitação apresenta dois períodos distintos: um chuvoso que vai de outubro a abril, e outro seco que vai de maio a setembro. O trimestre mais chuvoso corresponde aos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, concentrando 60% da precipitação anual, com o mês de janeiro apresentando o maior índice pluviométrico, com valores superiores a 200 mm. O trimestre mais seco corresponde aos meses de junho, julho e agosto, quando se verifica precipitação média de 26 mm, com o mês de agosto apresentando o menor índice pluviométrico, com valores inferiores a 10 mm.

Em relação à área de estudo, o trecho correspondente vai da UHE Manso, localizada nos municípios de Chapada dos Guimarães/MT e Nova Brasilândia/MT, até as Baías de Chacororé e Sinhá Mariana, em Barão de Melgaço/MT. A Figura 4.1, imagem a seguir, apresenta a localização região de interesse. Barão de Melgaço é um município localizado no Pantanal Mato-Grossense a 120km de Cuiabá. A área do município é 11.000km² e possui uma população, conforme último censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2022, de 7.253 habitantes. A sua base econômica é principalmente o turismo e a pesca, além de fruticultura, agricultura e pecuária.

As baías de Chacororé e Sinhá Mariana estão localizadas na margem esquerda do rio Cuiabá e são reguladas por pulsos de inundação, por meio de conexões laterais com o rio. A baía de Chacororé é considerada a terceira maior de todo o Pantanal e a primeira em Mato Grosso. Conectadas ao Rio Paraguai,

as baías Uberaba e Mandioré são as maiores do Pantanal e estão localizadas em Mato Grosso do Sul (UNEMAT, 2021).

Nos últimos anos, a operação da UHE Manso é alvo de críticas por conta dos possíveis impactos negativos sobre o ecossistema e sobre outros usos de água, como pesca e turismo. Em 2021, no auge da seca das baías de Chacororé e Sinhá Mariana, o Jornal Olhar Direto pontuou que um dos problemas dos níveis mínimos históricos nas lagoas é a regularização da vazão pela barragem. Estes impactos negativos estariam relacionados à redução da conectividade entre o rio Cuiabá e sua planície de inundação na região do Barão do Melgaço, que marca a entrada do rio Cuiabá no Pantanal.

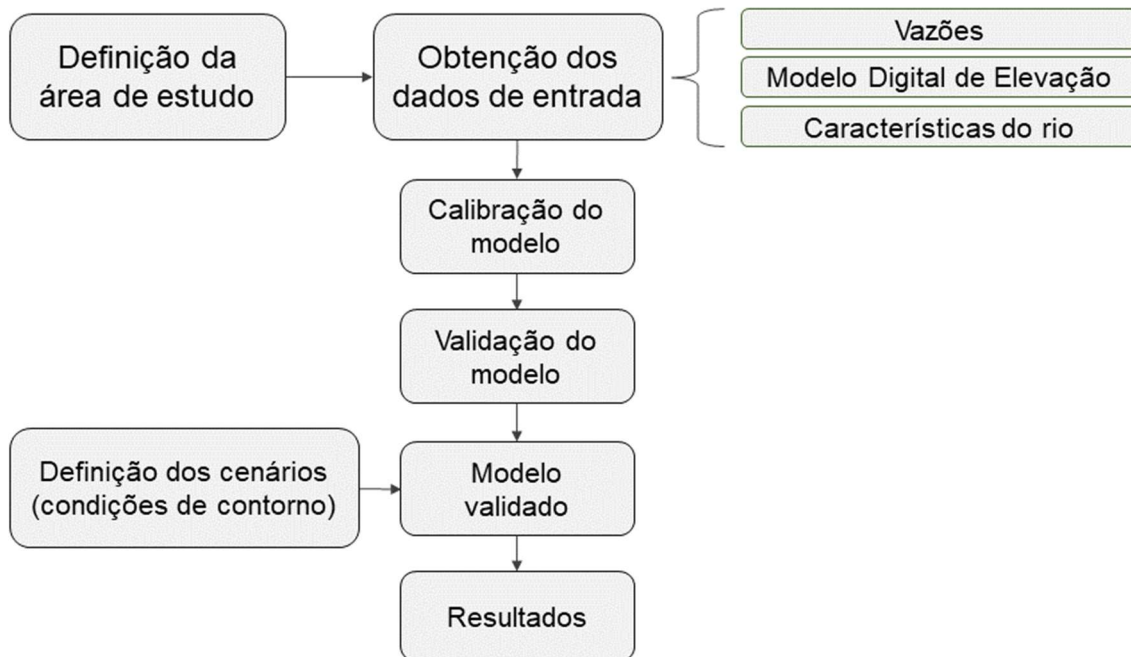
Figura 4.1 – Localização da área de estudo

INCLUIR PDF DA FIGURA NESSA PÁGINA

5. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são apresentadas as etapas utilizadas para o desenvolvimento do estudo, que foi baseado em diferentes simulações realizadas com o *software* HEC-HMS em sua versão 4.10. A Figura 5.1 apresenta um fluxograma geral das etapas de realização da pesquisa.

Figura 5.1 - Fluxograma geral das etapas de realização da pesquisa



Fonte: elaboração própria, 2023.

Para este estudo, o modelo HEC-HMS foi utilizado para propagar as vazões observadas em algumas estações fluviométricas ao longo da área de estudo, com o intuito de calibrar o processo de propagação de vazões por meio do método Muskingun-Cunge, para posterior avaliação de alguns cenários de operação da usina de Manso, os quais estão detalhados no item 5.4. Ainda, o capítulo 5 foi subdividido em quatro itens: (i) dados de entrada, que apresenta uma descrição das variáveis utilizadas no modelo e suas metodologias de obtenção, (ii) metodologia de propagação no rio, (iii) calibração e validação do modelo e (iv) cenários simulados.

5.1 Dados de entrada

5.1.1 Vazões

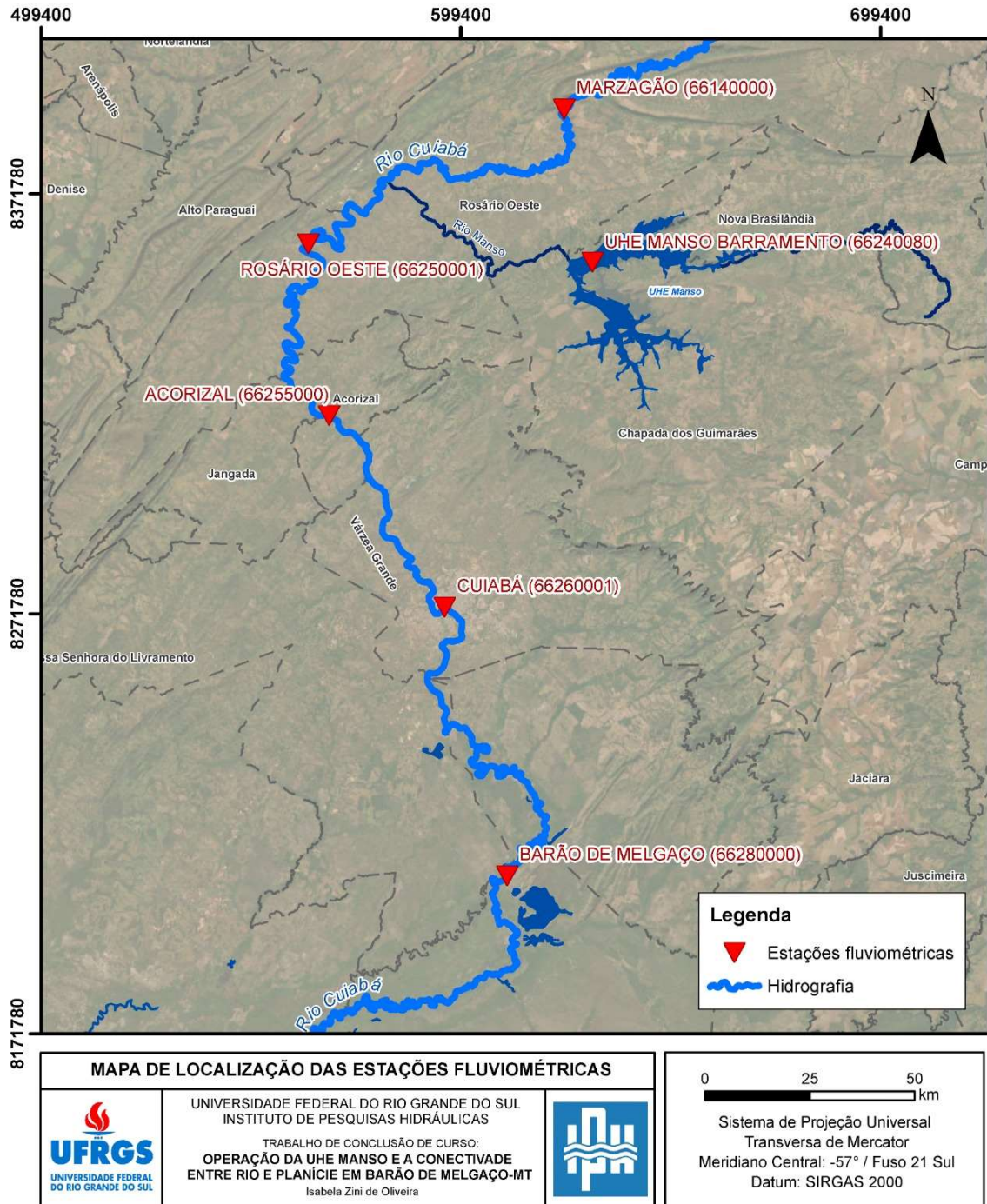
A caracterização fluviométrica da região de interesse foi realizada por meio de dados de estações fluviométricas próximas à região hidrográfica de estudo publicadas do portal HIDROWEB da ANA (ANA, 2023). As informações das estações fluviométricas estão apresentadas no Quadro 5.1 e a localização dos postos pode ser observada na **Erro! Autoreferência de indicador não válida..**

Quadro 5.1 – Dados das estações fluviométricas

Código	Nome	Operadora	Rio	Município	UF	Lat	Lon
66240080	UHE Manso Barramento	Cons. Manso	Manso	Chapada dos Guimarães	MT	-14,8714	-55,7847
66140000	Marzagão	CPRM	Cuiabazinho	Nobres	MT	-14,5417	-55,8489
66250001	Rosário Oeste	FURNAS	Cuiabá	Rosário Oeste	MT	-14,8342	-56,4139
66255000	Acorizal	FURNAS	Cuiabá	Acorizal	MT	-15,2039	-56,3669
66260001	Cuiabá	FURNAS	Cuiabá	Cuiabá	MT	-15,6156	-56,1086
66280000	Barão De Melgaço	CPRM	Cuiabá	Barão de Melgaço	MT	-16,1928	-55,9669

Fonte: HIDROWEB, 2023.

Figura 5.2 – Localização das estações fluviométricas



Fonte: elaboração própria, 2023.

A porcentagem de dados em cada uma das estações ao longo dos anos registrados está no Quadro 5.2. No período em que há registro no patamar de 100%, significa que não há falhas ao longo do respectivo ano.



Quadro 5.2 – Disponibilidade de dados das estações fluviométricas

Código	Estação	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
66240080	UHE Manso Barramento	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
66140000	Marzagão	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48	100
66250001	Rosário Oeste	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	92	100	100	100	100	100	100	100
66255000	Acorizal	0	0	0	0	0	1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
66260001	Cuiabá	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
66280000	Barão de Melgaço	0	0	0	0	0	0	8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

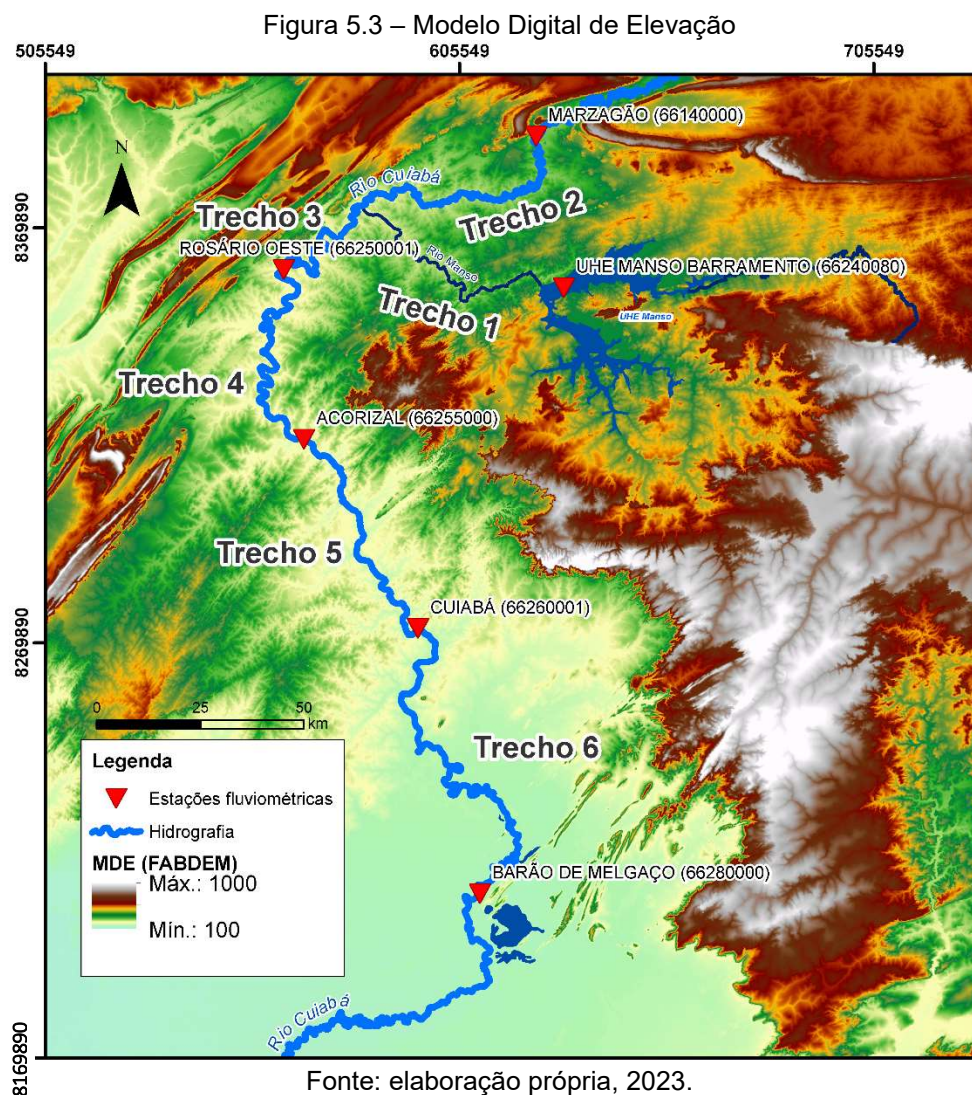
Código	Estação	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
66240080	UHE Manso Barramento	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	84
66140000	Marzagão	100	83	100	100	65	100	100	100	92	2	1	100	92	68	100	100	100	100	100	100	100
66250001	Rosário Oeste	100	100	100	100	100	100	100	100	100	92	100	58	83	67	100	100	100	100	100	100	100
66255000	Acorizal	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	62	100	100	100	100	100	100	100	100	100
66260001	Cuiabá	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
66280000	Barão de Melgaço	100	100	100	100	35	76	100	100	63	2	25	0	33	100	100	100	100	100	100	100	100

Código	Estação	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
66240080	UHE Manso Barramento	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	49	0	0	0	0	0	0	0	0
66140000	Marzagão	100	100	100	100	100	100	84	100	84	84	100	100	100	100	81	100	100	96	100	100	81	25
66250001	Rosário Oeste	100	100	100	100	100	100	100	0	0	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0
66255000	Acorizal	100	100	100	100	100	100	100	0	0	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0
66260001	Cuiabá	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0
66280000	Barão de Melgaço	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	75	94	27	1

Fonte: elaboração própria, 2023.

5.1.2 Modelo Digital de Elevação

Neste estudo, utilizou-se o modelo digital de elevação FABDEM (*Forest And Buildings Removed Copernicus DEM*). O FABDEM é um modelo de elevação global, no qual foram removidas distorções de altura de edifícios e árvores do modelo digital de elevação (MDE) *Copernicus GLO 30*. Os dados estão disponíveis com espaçamento de grade de um (01) segundo de arco (aproximadamente 30 metros) para o globo (Hawker *et al.*, 2022). A Figura 5.3 apresenta o MDE, em que os valores mais elevados estão representados pelos tons vermelhos e amarelos e os valores mais baixos são demonstrados pelos tons verdes e azuis. Tal imagem foi gerada pelas ferramentas de processamento do *software* HEC-HMS versão 4.10.



5.1.3 Características do curso d'água

Os trechos foram divididos nos locais em que há estações fluviométricas ou confluência de rios para que fosse viável a comparação com dados observados. As informações das características do curso d'água, como comprimento, largura e declividade, podem ser verificadas no Quadro 5.3.

O trecho 1 tem início na UHE Manso, no rio Manso, e termina na confluência com o rio Cuiabá. Da mesma forma, o trecho 2 finaliza na confluência, entretanto começa na estação fluviométrica Marzagão (cód. 66140000) e percorre o rio Cuiabazinho.

A partir do trecho 3 ao trecho 6, o curso d'água representado é o rio Cuiabá. Entre as estações fluviométricas Rosário Oeste (cód. 66250001), Acorizal (cód. 66255000) e Cuiabá (cód. 66260001), há respectivamente os trechos 3, 4 e 5. Por fim, o trecho 6 finaliza nas Lagoas Chacororé e Sinhá Mariana, as quais estão próximas à estação Barão de Melgaço (cód. 66280000).

Quadro 5.3 – Características do curso d'água

Trecho	Início	Fim	L (m)	Largura (m)	Declividade
1	UHE Manso	Confluência	82804,8	86,24	0,00042
2	Cuiabazinho	Confluência	92558,3	44,04	0,00047
3	Confluência	Rosário Oeste	51605,5	123,48	0,00020
4	Rosário Oeste	Acorizal	81787,0	124,35	0,00019
5	Acorizal	Cuiabá	68848,7	144,73	0,00033
6	Cuiabá	Barão de Melgaço	133983,2	135,42	0,00011

Fonte: elaboração própria, 2023.

5.1.3.1 *Comprimento*

O comprimento foi gerado por meio dos cálculos do software HEC-HMS. O valor determinado para cada trecho está no Quadro 5.3.

5.1.3.2 *Largura*

A largura do rio, distância entre as margens, foi medida por meio da ferramenta de medição *Medir* do QGIS. Para isto, foi utilizada a imagem do

Google Hybrid, o qual faz parte dos pacotes da *web services* do plugin *QuickMapServices* do QGIS.

As medições foram realizadas a cada 10 quilômetros. Posteriormente, foi calculada a média das larguras para os respectivos trechos. O resumo das informações está concentrado no Quadro 5.4.

Quadro 5.4 – Largura

Trecho	Início	Fim	Quantidade de medições	Largura média (m)
1	UHE Manso	Confluência	9	86,24
2	Cuiabazinho	Confluência	10	44,04
3	Confluência	Rosário Oeste	5	123,48
4	Rosário Oeste	Acorizal	8	124,35
5	Acorizal	Cuiabá	7	144,73
6	Cuiabá	Barão de Melgaço	13	135,42

Fonte: elaboração própria, 2023.

5.1.3.3 Declividade

A declividade é a diferença de cota entre dois pontos dividida pelo comprimento da drenagem, como mostra a Equação 1.

$$S = \frac{H_f - H_i}{L} \quad \text{Equação 1}$$

onde S é a declividade média; H_i é a cota inicial do trecho; H_f é a cota final do trecho; e L é o comprimento do trecho da drenagem, desde H_i até H_f .

A estimativa das cotas foi gerada por meio da ferramenta *zonal statistics* do ArcGIS versão 4.10, a qual utilizada o MDE para gerar os resultados de altimetria. Os comprimentos utilizados foram descritos no item 5.1.3.1. Enquanto as declividades de cada trecho estão apresentadas no Quadro 5.3.

5.2 Método de propagação de cheia Muskingum-Cunge

O método de propagação de onda de cheia utilizado neste estudo foi o método de Muskingum-Cunge. A finalidade dos cálculos de propagação de vazão em rios consiste em estabelecer o hidrograma das vazões em uma

determinada seção transversal do rio. Isso é feito com base no hidrograma conhecido em uma ou mais seções transversais localizadas a montante (Collischonn; Dornelles, 2015).

Para compreender o comportamento de uma onda de cheia em rio ou canal artificial, os cálculos de propagação de vazões são cruciais. Os métodos de cálculo em rios são, em geral, divididos em dois grupos: métodos hidráulicos e métodos hidrológicos. Os métodos hidráulicos utilizam as equações de Saint-Venant, que são um conjunto de equações diferenciais que representam a conservação de massa e de quantidade de movimento no rio (Collischonn; Dornelles, 2015). Os métodos hidrológicos estão baseados na simplificação das equações de Saint-Venant, em que se utiliza a equação da continuidade e uma relação entre vazão e armazenamento de água em um trecho de rio.

Entre os métodos hidrológicos mais empregados, estão o método da onda cinemática e o método Muskingum. O método Muskingum combina a equação da continuidade a uma equação simplificada que relaciona o armazenamento em um trecho de rio às vazões de entrada e saída do trecho (Collischonn; Dornelles, 2015), conforme Equação 2.

$$Q_{t+\Delta t} = C1 * I_{t+\Delta t} + C2 * I_t + C3 * Q_t \quad \text{Equação 2}$$

onde

$$C1 = \frac{\Delta t - 2 * K * X}{2 * K * (1 - X) + \Delta t}$$

$$C2 = \frac{\Delta t + 2 * K * X}{2 * K * (1 - X) + \Delta t}$$

$$C3 = \frac{2 * K * (1 - X) - \Delta t}{2 * K * (1 - X) + \Delta t}$$

sendo que $C1 + C2 + C3 = 1$.

Uma problemática do método Muskingum é a definição dos valores dos parâmetros K e X , visto que é necessário dados observados de vazão tanto de montante quanto de jusante do trecho do rio. Dessa forma, o método

Muskungim-Cunge propõe estimativas dos valores K e X a partir de características físicas do rio, como a declividade do fundo do rio e a largura do trecho. O equacionamento dos parâmetros K e X está apresentado na Equação 3 e na Equação 4 respectivamente.

$$K = \frac{\Delta x}{c} \quad \text{Equação 3}$$

$$X = \frac{1}{2} * \left(1 - \frac{Q}{B * c * S_0 * \Delta x} \right) \quad \text{Equação 4}$$

onde Δx é o comprimento do trecho do rio (m); K é o parâmetro do modelo Muskingum (s); c é a celeridade cinemática da onda de cheia (m/s); B é a largura do rio (m); S_0 é a declividade do fundo do rio (m/m); e Q é a vazão de referência (m³/s).

A celeridade da onda de cheia pode ser aproximada pela Equação 5, conforme Tucci (1998).

$$c = \frac{5}{3}u \quad \text{Equação 5}$$

onde c é a velocidade de propagação da onda de cheia conhecida como celeridade cinemática (m/s); e u é a velocidade média da água (m/s).

No método Muskingum-Cunge, os parâmetros são recalculados a cada intervalo de tempo com base nas propriedades do canal e na profundidade do fluxo (USACE, 2022).

5.3 Calibração e validação

Para a determinação da qualidade da calibração do modelo, podem ser utilizadas diversas métricas estatísticas, dentre as mais populares está o coeficiente de eficiência Nash-Sutcliffe (NSE). O coeficiente NSE é uma métrica comparativa de avaliação de resultados. No estudo em questão, os resultados avaliados são de vazões observadas e vazões calculadas. O coeficiente avalia se os resultados do modelo são melhores do que os obtidos por um modelo alternativo, o qual considera as médias dos dados observados (Nash; Sutcliffe, 1970).

Este indicador tende a dar mais valor aos picos das vazões, portanto não sendo indicado no ajuste e análise dos períodos de recessão. Por este motivo, essa métrica foi adotada para avaliar as vazões máximas, foco do estudo. A Equação 6 apresenta o coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{Ci} - Q_{Oi})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{Ci} - Q_{Om})^2} \quad \text{Equação 6}$$

onde Q_{Ci} é a vazão calculada num intervalo de tempo i ; Q_{Oi} é a vazão observada no mesmo intervalo de tempo; N é o número de intervalos de tempo; Q_{Om} é a média das vazões observadas no período de N intervalos de tempo.

Os valores para avaliação de desempenho do coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe variam entre menos infinito e um. Os valores mais próximos de um (1) indicam melhores resultados (eficiência máxima), enquanto valores iguais ou menores que zero (0) indicam que a média da série é um indicador melhor do que o modelo utilizado. Para o trecho de estudo desta pesquisa, Jardim *et al.* (2020) apontou NSE de 0,709 a 0,758 entre as estações Rosário Oeste e Cuiabá, enquanto 0,940 para a de Barão de Melgaço.

No caso do modelo HEC-HMS, para o método Muskingum-Cunge, a calibração foi feita alterando dois parâmetros: (a) seção transversal, quanto maior a planície de inundação, maior será a atenuação da onda de cheia, e (b) rugosidade de Manning do curso principal e dos talvegues. Quanto mais altos os valores de rugosidade, maior o atrito da água com a superfície, reduzindo a velocidade do escoamento e retardando as ondas de cheia.

Neste trabalho, os valores de Manning foram testados diversas vezes tendo como base os valores de referência apontados em Chapra e Canale (2006). As mudanças nos valores foram de forma gradativa, em que foi mudado o valor a cada simulação e comparado os hidrogramas simulados com os hidrogramas observados. Para a seção transversal, adotou-se uma seção retangular para a calha do rio entre o trecho 1 e o trecho 5. Entretanto, no trecho 6, testou-se formas distintas para a seção transversal, para representar a planície de inundação do Pantanal. Para isso, adotou-se uma seção oito pontos apenas nesse trecho.

Após a etapa de calibração, comumente é realizado a etapa de validação, que consiste na aplicação do modelo calibrado em outra série de dados, a fim de visualizar se as métricas utilizadas para avaliação do modelo resultam em bons dados. No presente estudo, os detalhes da calibração e validação do modelo serão apresentados respectivamente no item 5.3.2 e no item 5.3.3. Em contrapartida, os critérios de escolha dos dados podem ser verificados no item 5.3.1.

5.3.1 Critérios de escolha dos dados de vazão para a calibração e a validação

A mudança do regime de vazões do rio Cuiabá se deu após a construção da UHE Manso. Posto isto, os dados de vazão escolhidos para o presente estudo são após este marco temporal. Ainda, foi desconsiderado os dois anos após o início da operação (2001 e 2002), pois o reservatório estava em fase de enchimento. Para a calibração, dois critérios foram adotados para a escolha de dados: (i) vazões maiores que 1000 m³/s e (ii) disponibilidade de dados em todas as estações fluviométricas (Quadro 5.1) no período adotado para a simulação.

Conforme apresentado no item 3.2, Jardim *et al.* (2020) apontaram que vazões máximas em Barão de Melgaço, antes da construção da barragem, estão entre 980 e 1315 m³/s. Dessa forma, os anos que se enquadram nesse critério são 2004, 2006, 2008, 2010, 2011, 2013, 2014, 2017 e 2018. Entretanto, os anos 2010, 2011, 2017 e 2018 não se encaixam no segundo critério, pois apresentaram falhas durante o intervalo de simulação escolhido (15 de janeiro a 15 de março) em uma ou mais estações. Logo, os anos que se enquadraram nos dois critérios foram 2004, 2006, 2008, 2013 e 2014. Os detalhes da calibração serão expostos no item 5.3.2.

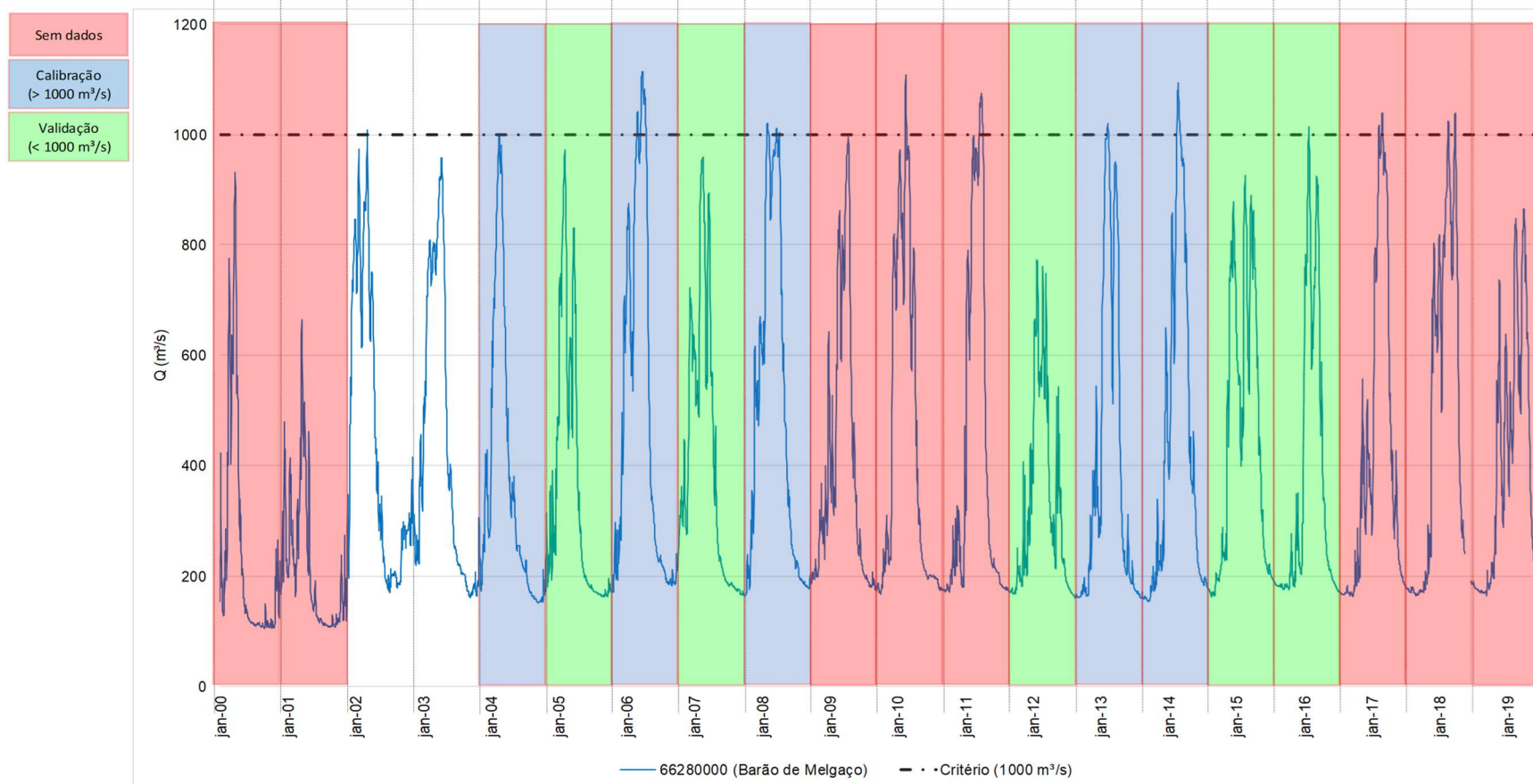
Para a validação, foram escolhidos os anos com (i) vazões menores que 1000 m³/s e (ii) disponibilidade de dados em todas as estações fluviométricas (Quadro 5.1) no intervalo adotado para a simulação. Os anos de 2003 e 2009 apresentaram vazões muito próximas a 1000 m³/s, motivo pelo qual foram descartados da análise. Já os anos de 2019 e 2020 apresentaram falhas em algumas estações e, após 2020, não há dados na estação Barão de Melgaço (66280000). Logo, os anos que abrangem os dois critérios são 2005, 2007, 2012,



2015 e 2016. A análise dos dados para a validação do modelo está apresentada no item 5.3.3. Além disso, na Figura 5.4 é possível verificar graficamente as informações citadas anteriormente.

Figura 5.4 – Disponibilidade dos dados na estação fluviométrica Barão de Melgaço e critérios adotados na calibração e validação

Código	Estação	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
66240080	UHE Manso Barramento	0	84	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	49	0	0	0	0
66140000	Marzagão	100	100	100	100	100	100	100	100	84	100	84	84	100	100	100	100	81	100	100	96
66250001	Rosário Oeste	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0	100	100	100	100	100	100	0	0	0
66255000	Acorizal	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0	100	100	100	100	100	100	0	0	0
66260001	Cuiabá	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0	0
66280000	Barão de Melgaço	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100



Fonte: elaboração própria, 2024.

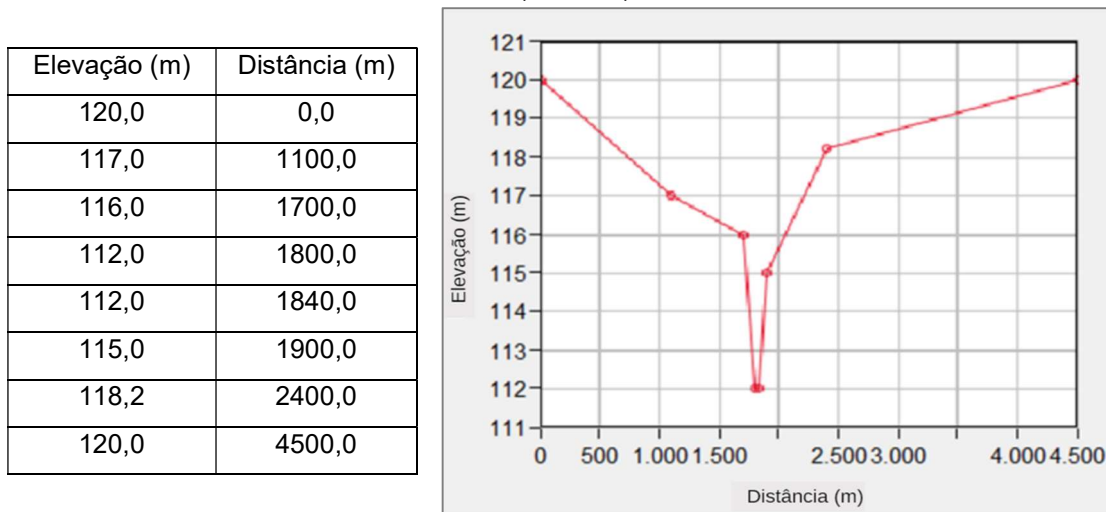
5.3.2 Calibração

O trecho entre Cuiabá e Barão de Melgaço, início da planície pantaneira, apresenta uma complexa drenagem, justamente por existir caminhos laterais para o fluxo da água e pela frequente modificação da calha do rio. Ainda, na região em questão, há pouca informação sobre as seções transversais, topografia da planície, declividade e eventuais canais secundários. Por isso, há diversas fontes de erro na representação do terreno.

Outra fonte de erro é a limitação do modelo de propagação utilizado. O modelo Muskingum-Cunge é relativamente impreciso em rios de declividade muito baixa, como é o caso do trecho do rio Cuiabá entre Cuiabá e Barão do Melgaço. Ainda, não há estações fluviométricas nos principais afluentes do rio Cuiabá (rio Coxipó e rio Janguada) no trecho de estudo, ou seja, inexistem informações da contribuição desses afluentes. Logo, utilizou-se a diferença de vazão dos dados observados e dos dados simulados para obter uma série de vazões para os dois principais afluentes, tendo como embasamento a lei da conservação das massas.

Os trechos 1, 2, 3, 4 e 5 apresentam características semelhantes de relevo, isto é, a calha do rio é encaixada ao terreno, sendo assim optou-se por uma representação retangular da calha do rio nesses trechos. Ainda, o coeficiente de Manning adotado foi 0,035, valor indicado para rios em condições naturais, conforme Chapra e Canale (2006). Entretanto, no trecho 6, o rio Cuiabá adentra a planície aluvial, por isso escolheu-se o coeficiente de Manning igual a 0,032 no canal principal e 0,99 na planície de inundação. Além disso, visto que nesse trecho há áreas marginais, utilizou-se uma seção transversal de oito pontos para a representação do rio, conforme demonstrado na Figura 5.5, que foi retirada do projeto do *software* HEC-HMS versão 4.10.

Figura 5.5 – Seção transversal para representar o trecho entre Cuiabá e Barão de Melgaço (trecho 6)



Fonte: elaboração própria, 2024.

Considerando as limitações do modelo e os critérios de utilização dos dados de vazão, os anos utilizados para a calibração foram 2004, 2006, 2008, 2013 e 2014, como pode ser verificado na Figura 5.6. O ano de 2014 foi utilizado como referência para as tentativas de diferentes parâmetros, porque apresentou a maior vazão registrada entre os anos citados, enquanto os demais foram usadas para refinação dos testes. O Quadro 5.5 apresenta os resultados dos coeficientes de Nash-Shutcliffe para os diferentes intervalos de tempo simulados, em que foi calculado o coeficiente apenas para o período entre janeiro e março. Para os anos de 2006, 2008, 2013 e 2014, os NSE calculados são inferiores aos de Jardim *et al.* (2020), mas, dada a complexidade do modelo, são valores satisfatórios para a região de estudo.

Quadro 5.5 – Resultados dos coeficientes de eficiência de Nash-Shutcliffe para as simulações de calibração das estações

NSE	2004	2006	2008	2013	2014
	0,06	0,84	0,67	0,77	0,65

Fonte: elaboração própria, 2023.

A Figura 5.6-a apresenta os resultados para o período de calibração da Estação Barão de Melgaço (66280000) em 2004. Neste hidrograma é possível observar que há uma diferença de amplitude significativa no pico da cheia, pois há aproximadamente 600 m³/s a mais no pico da vazão simulada em relação a vazão observada, ou seja, há superestimação dos valores. A divergência significativa das curvas é expressa no NSE insatisfatório, com valor igual 0,06.

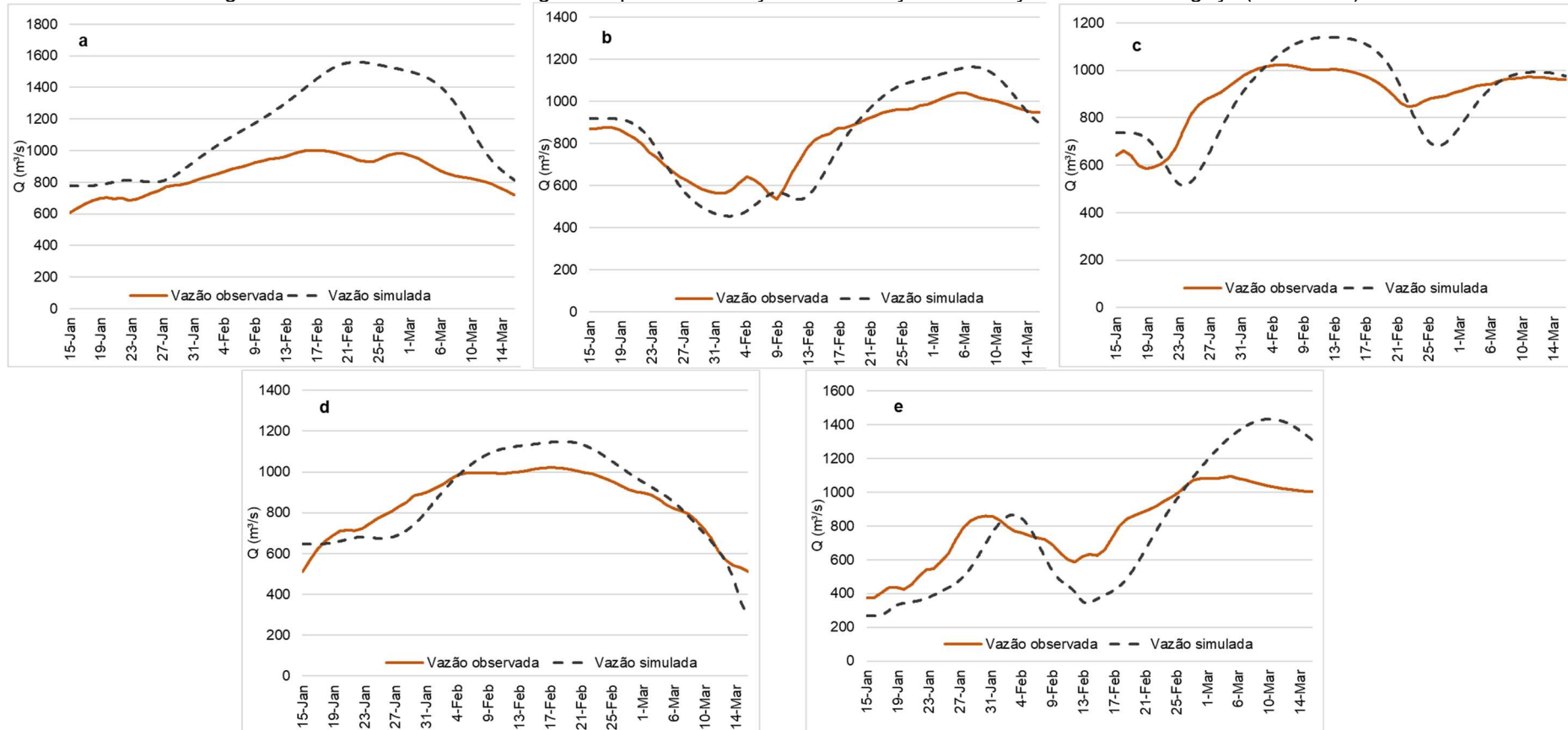
Uma das hipóteses para o NSE ficar próximo a zero é possivelmente pelo fato da onda de cheia apresentar poucas variações durante o período analisado. Sendo assim, o NSE que é sensível a variância, apresentou um valor baixo justamente por esse ano não ter tido grandes variações.

A Figura 5.6-b apresenta os resultados para o período de calibração da Estação Barão de Melgaço (66280000) em 2006. Em contrapartida à simulação de 2004, a qual apresentou o valor mais baixo de NSE entre os anos de calibração, o NSE no ano de 2006 foi o melhor entre os anos da calibração, com um valor igual a 0,84. Neste hidrograma é possível observar que as vazões simuladas estão próximas as vazões observadas, tendo apenas um pequeno atraso do hidrograma simulado.

A Figura 5.6-c apresenta os resultados para o período de calibração da Estação Barão de Melgaço (66280000) em 2008. Os comportamentos dos hidrogramas são semelhantes, mas há pequenos problemas de amplitude e atraso do hidrograma, justificando o NSE igual a 0,67. Ainda, percebe-se que o modelo não atenua de maneira suficiente o hidrograma. Já a Figura 5.6-d apresenta os resultados para o período de calibração da Estação Barão de Melgaço (66280000) em 2013. O NSE calculado foi igual a 0,77, resultado da semelhança entre os hidrogramas simulado e observado, efeito que pode ser observado na imagem.

Por fim, a Figura 5.6-e apresenta os resultados para o período de calibração da Estação Barão de Melgaço (66280000) em 2014. Neste hidrograma é possível observar que as anomalias das vazões observadas e simuladas se intercalam entre si, sendo possível concluir apenas que há superestimativa em relação ao pico. Além disso, nota-se que os picos simulados estão atrasados em relação aos observados, e o hidrograma simulado não atenuou na mesma proporção que o hidrograma observado. Segundo Nascimento *et al.* (2023), o amortecimento em Barão de Melgaço é de aproximadamente 50%. Mesmo apresentando distanciamento do hidrograma observado, o NSE (0,65) ficou satisfatório, embasado nos valores para a região de Jardim *et al.* (2020).

Figura 5.6 - Resultados dos hidrogramas para a simulação de calibração da Estação Barão de Melgaço (66280000)



Fonte: elaboração própria, 2023.

5.3.3 Validação

O objetivo da validação é avaliar se os parâmetros escolhidos na calibração são adequados para outros eventos. Para isso, os anos utilizados para a validação foram 2005, 2007, 2012, 2015 e 2016, já que ambos os critérios de escolha (item 5.3.1) são respeitados para esses anos. Os anos que não atingiram vazões máximas maiores que 1000 m³/s foram escolhidos para as simulações com vazões suplementares. A motivação para essa decisão foi pela importância para o ecossistema dos pulsos de inundação possuírem vazões elevadas durante o período de cheia.

A Figura 5.7-a apresenta os resultados para o período de validação da Estação Barão de Melgaço (66280000) em 2005. O comportamento do hidrograma simulado acompanha o observado, entretanto é possível visualizar que a atenuação não foi totalmente representada. Em contrapartida, as vazões máximas simuladas ficam próximas as observadas, assim acertando o momento do pico máximo da cheia. Enquanto a Figura 5.7-b apresenta os resultados para o período de validação da Estação Barão de Melgaço (66280000) em 2007. Da mesma forma, o comportamento do hidrograma simulado acompanha o observado, mas há problemas de representação da atenuação. Nota-se que o modelo subestima as vazões durante esse período de cheia.

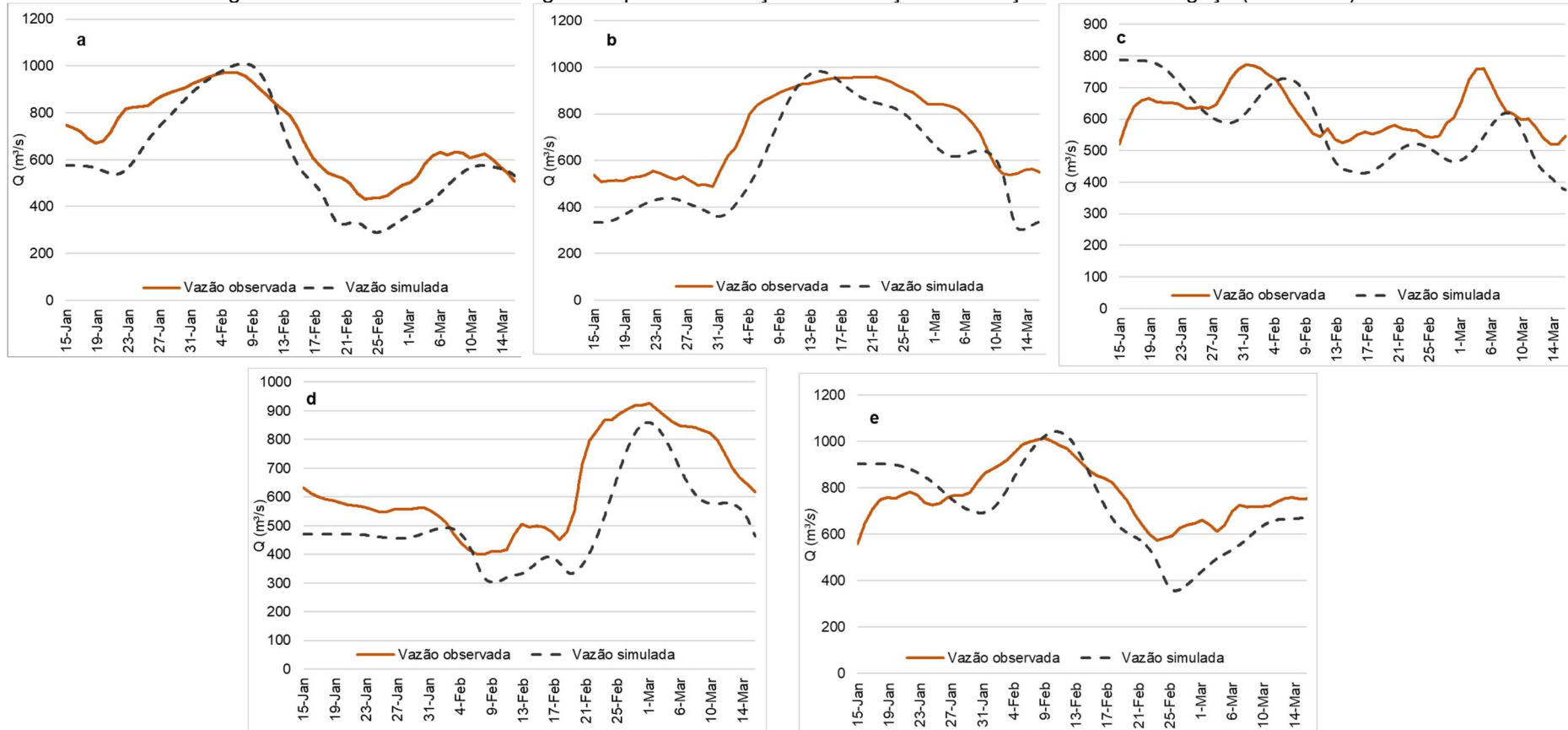
Além disso, a Figura 5.7-c apresenta os resultados para o período de validação da Estação Barão de Melgaço (66280000) em 2012. Neste ano, o hidrograma simulado está atrasado em relação ao observado. A vazão máxima observada registrada foi igual a 772,0 m³/s em 01 de fevereiro. Enquanto o pico simulado foi igual a 728,9 m³/s em 06 de fevereiro, demonstrado um atraso de cinco dias da representação do pico máximo, mas com vazões muito próximas ao pico da cheia. Já a Figura 5.7-d apresenta os resultados para o período de validação da Estação Barão de Melgaço (66280000) em 2015. O comportamento do hidrograma simulado acompanha o observado, porém se nota que o modelo subestima as vazões durante esse período de cheia.

Por fim, a Figura 5.7-e apresenta os resultados para o período de validação da Estação Barão de Melgaço (66280000) em 2016. Para este período



de análise, as vazões utilizadas no hidrograma observado são da defluência da UHE Manso, pois não há dados na estação UHE Manso Barramento (66240080) a partir de 2016. O pico máximo da cheia registrado no hidrograma observado foi igual a 1014,5 m³/s em 09 de fevereiro, ao passo que a vazão máxima simulada foi igual a 1042,1 em 10 de fevereiro. Sendo assim, o pico máximo simulado ficou muito próximo ao observado e com apenas um dia de atraso, demonstrando uma boa representação. Entretanto, verificando todo o período analisado, nota-se que o modelo subestima as vazões na maior parte do tempo, mesmo que haja semelhanças no comportamento do hidrograma simulado em comparação ao observado.

Figura 5.7 - Resultados dos hidrogramas para a simulação de validação da Estação Barão de Melgaço (66280000)



Fonte: elaboração própria, 2023.

5.4 Cenários

Após a finalização da calibração e validação, aplicou-se o modelo em quatro cenários: vazão naturalizada (item 5.4.1), vazão defluente operada (item 5.4.2) e dois cenários alternativos de modificação da vazão defluente (item 5.4.3). Os itens a seguir apresentarão detalhadamente os cenários simulados.

5.4.1 Cenário 1: vazão naturalizada

No cenário da vazão inalterada, o dado de entrada utilizado no modelo para o local que está a usina de Manso foi a série de dados de vazão naturalizada informada pelo Sistema de Acompanhamento de Reservatórios (SAR) da ANA. Em outras palavras, é um cenário hipotético de inexistência da usina.

5.4.2 Cenário 2: vazão defluente operada

No cenário de vazão defluente atual, o dado de entrada para a condição de contorno na UHE Manso foi a série de vazões da estação fluviométrica UHE Manso Barramento (66240080). Exclusivamente para o ano de 2016, foi utilizada a defluência registrada pelo SAR, porque não há disponibilidade de dados a partir deste ano na estação escolhida.

5.4.3 Cenário 3 e 4: vazão defluente modificada

Nos cenários 3 e 4, adotou-se, como condição de contorno em Manso, vazões defluentes modificadas. No cenário 3, modificou-se a vazão para o valor de 400 m³/s durante uma semana antes do pico máximo registrado na vazão de operação simulada. Enquanto, no cenário 4, alterou-se um mês das vazões para 400 m³/s na série de dados tendo início em 15 de janeiro.

Os anos escolhidos para a aplicação da vazão suplementar e análise dos resultados são os anos em que não foi atingido 1000 m³/s no pico máximo da cheia ou atingiu por apenas um curto período, ou seja, os anos utilizados na

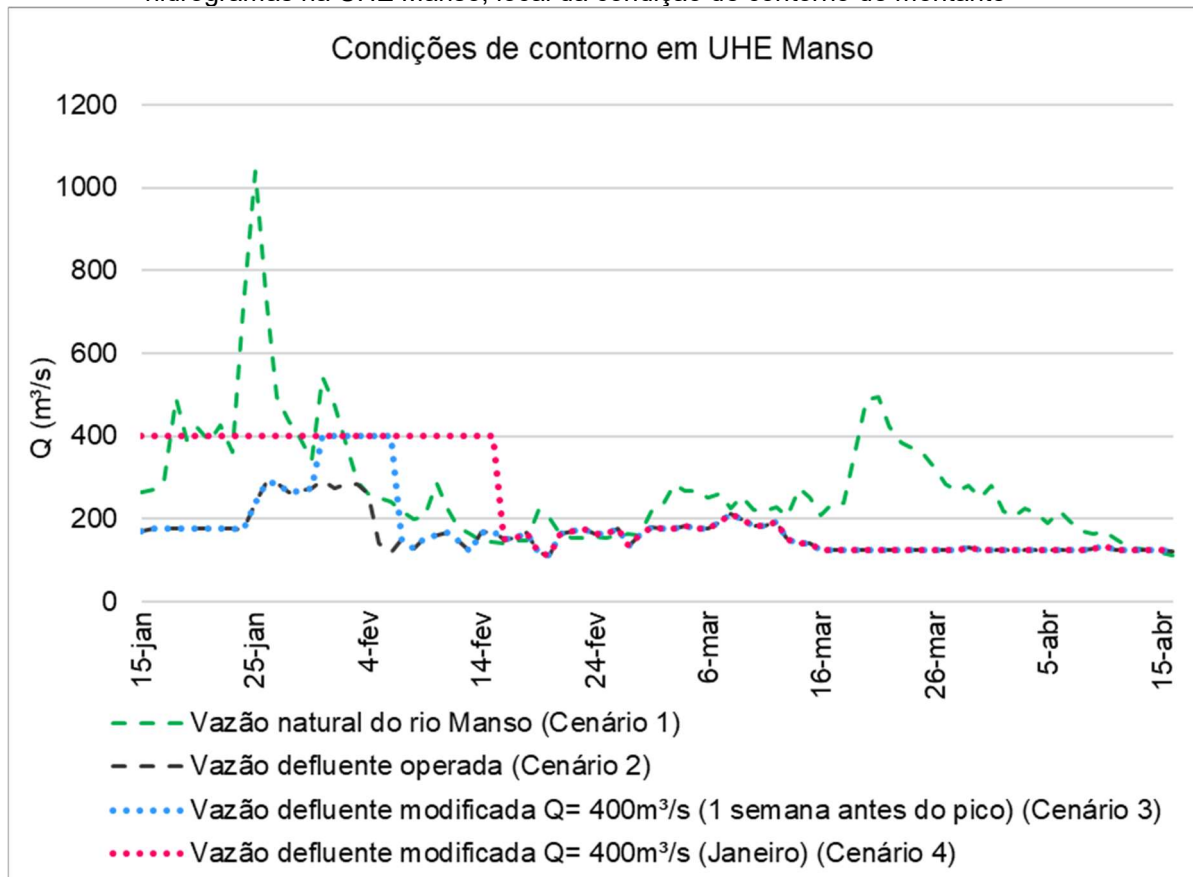
validação (2005, 2007, 2012, 2015 e 2016). É importante se ater a esses anos, pois é crucial, para a manutenção do ecossistema, cheias com vazões altas e por vários dias. Por isso, foram simuladas vazões suplementares de liberação de água em Manso para verificar se seria atingido a vazão ideal estipulada (1000 m³/s) em Barão de Melgaço.

Os intervalos de tempo escolhidos para a liberação da vazão suplementar foram uma semana antes do pico máximo observado na série de dados da estação fluviométrica e um mês. Além disso, foi simulada a vazão naturalizada do rio Manso com a série de dados do SAR para comparar com as demais simulações. Ainda, a vazão utilizada nas simulações das vazões suplementares foi aproximadamente o valor máximo que pode ser liberado pelas turbinas (400 m³/s). Este valor máximo de defluência foi adotado de forma a simular um cenário em que se busca atender às demandas do ecossistema apenas pelo aumento da vazão turbinada, sem recorrer à liberação de vazão suplementar pelo vertedor.

Em relação à escolha do período de liberação da vazão suplementar de uma semana, salienta-se a dificuldade na previsibilidade do pico das vazões com antecedência. Nos anos em questão, foi possível acertar o período por já existir os registros dos picos máximos, mas, em uma situação sem registros, seria importante contar com uma boa previsão num horizonte de até 10 dias.

Neste estudo, adotou-se que a tomada de decisão para a liberação hipotética de vazões suplementares de um mês foi em início de janeiro, tendo em vista que a liberação ocorreria a partir do dia 15. Liberações tardias levariam a picos tardios, desta forma não tendo a resposta ecológica necessária para a manutenção do ecossistema. Ainda, o tempo de análise das vazões foi de dois meses, isto é, entre 15 de janeiro e 15 de março, pois é o intervalo de tempo em que ocorre o pico máximo em Barão de Melgaço. Posto isto, a Figura 5.8 ilustra os cenários utilizando os dados do ano de 2005 para comparar os hidrogramas utilizados como condição de contorno de montante.

Figura 5.8 – Exemplificação dos cenários utilizando os dados do ano de 2005 para comparar os hidrogramas na UHE Manso, local da condição de contorno de montante



Fonte: elaboração própria, 2024.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados das simulações da presente pesquisa estão resumidos no Quadro 6.1. Para o ano de 2005, na situação de vazão naturalizada, a vazão de 1000 m³/s foi excedida durante 13 dias em Barão de Melgaço. Em contrapartida, na situação de vazão defluente não foi superada em nenhum dia. Caso houvesse uma vazão suplementar durante uma semana antes do pico máximo, seis dias ficariam acima. Na condição de liberação suplementar durante um mês, seria possível atingir vazões maiores que 1000 m³/s no decorrer de 13 dias, o mesmo período excedido com a vazão naturalizada. Posto isto, a Figura 6.1 ilustra os hidrogramas referentes a cheia de 2005. Para os demais anos, foram gerados gráficos que estão apresentados no Apêndice.

Da mesma forma, no ano de 2016, a vazão naturalizada simulada demonstrou que durante nove dias ocorreram vazões maiores que 1000 m³/s. Em compensação, na situação de vazão defluente foi superada em quatro dias. Comparando com a vazão suplementar de um mês, esse tempo se manteria em nove dias. Isso demonstra que a vazão adicional seria muito próxima ao regime natural do rio, respeitando as características ambientais da região. Quanto a vazão suplementar de uma semana, o objetivo adotado foi atingido durante seis dias. Em 2007, contudo, nem a vazão de operação nem a vazão suplementar de uma semana excederam 1000 m³/s, somente a vazão naturalizada, ao longo de 17 dias, e a liberação adicional de um mês no tempo de 10 dias.

Por outro lado, houve anos que, por mais que ocorresse a liberação suplementar de um mês, não seria excedida a vazão de 1000 m³/s, tendo como exemplo os anos de 2012 e 2015. No caso de 2012, em nenhum cenário a vazão foi maior que 1000 m³/s, corroborando que foi um ano naturalmente seco. Porém, o ano de 2015 destoou dos demais, uma vez que o pico máximo ocorreu em março. Esse comportamento é de difícil previsibilidade, porque normalmente os picos acontecem antes. Com chuvas tardias, tanto a vazão suplementar de um mês quando a de uma semana não auxiliariam para atingir o objetivo de 1000 m³/s, tendo apenas o cenário de vazão naturalizada excedendo a vazão por quatro dias em Barão de Melgaço. Como exemplo, na Figura 6.2, o gráfico ilustra

os hidrogramas referentes a cheia de 2012 e, na Figura 6.3, o gráfico dos hidrogramas referentes ao ano de 2015.

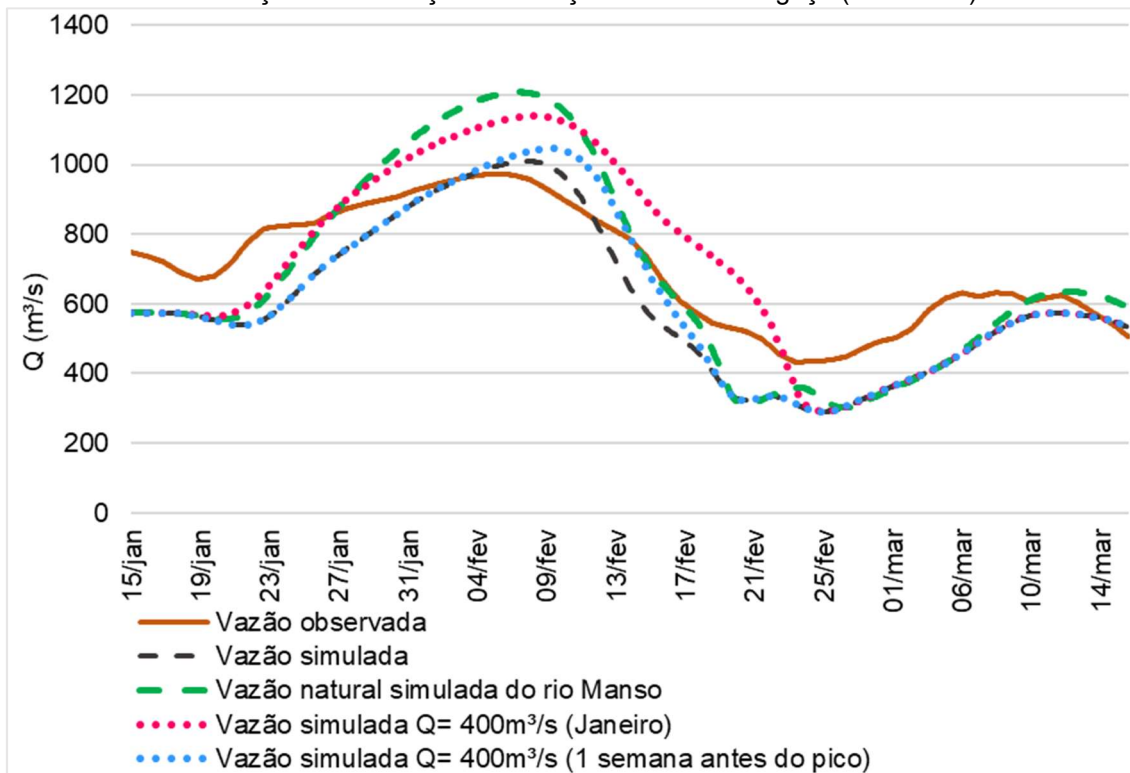
Quadro 6.1 – Resultados das simulações com vazões suplementares para os períodos com vazões máximas menores que 1000 m³/s e comparação com a vazão naturalizada do rio Manso

Vazão (Q)	Quantidade de dias com Q ≥ 1000 m ³ /s				
	2005	2007	2012	2015	2016
Vazão naturalizada	13 dias	17 dias	0	4 dias	9 dias
Vazão operada	0	0	0	0	4 dias
Q= 400 m ³ /s durante 1 semana	6 dias	0	0	0	6 dias
Q= 400 m ³ /s durante 1 mês	13 dias	10 dias	0	0	9 dias

Fonte: elaboração própria, 2024.

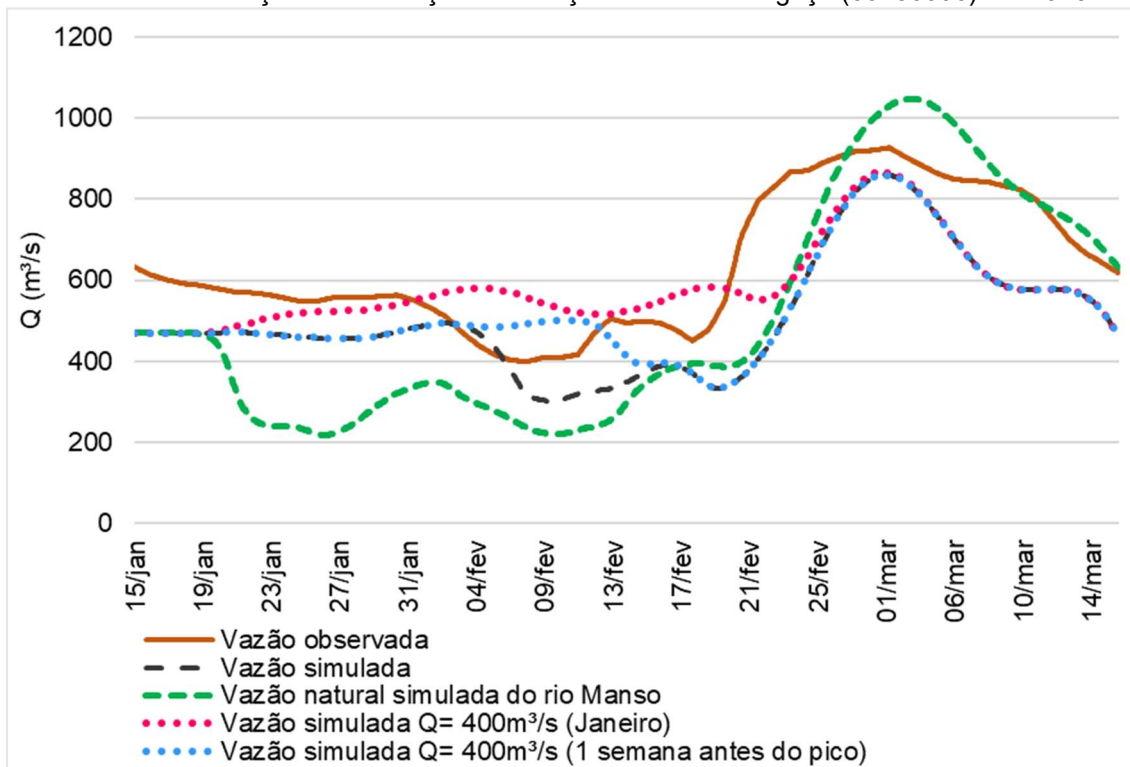
A análise dos cinco anos de vazões abaixo ou próximas de 1000 m³/s constata que as vazões suplementares de um mês auxiliariam em três situações (2005, 2007 e 2016), mas seria insuficiente em 2015 e 2012. Todavia, a liberação de uma semana resultou em mais fracassos e períodos menores de vazões excedidas, por isso a liberação deveria ser no espaço de tempo maior que uma semana. Além disso, é complexa a previsibilidade exata do pico. Idealmente, seria interessante ter um ótimo sistema de previsão que permitisse realizar essa tomada de decisão antecipadamente.

Figura 6.1 – Resultados dos hidrogramas comparando as vazões suplementares com as vazões de simulação e observação da Estação Barão de Melgaço (66280000) em 2005



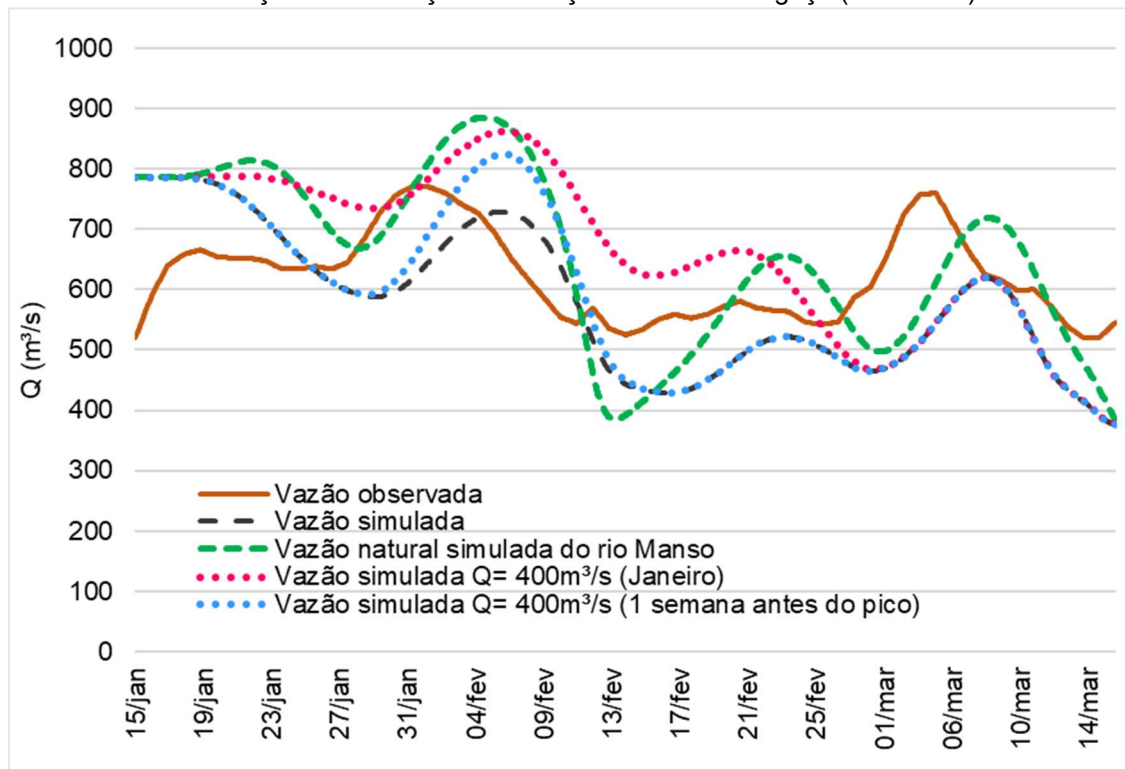
Fonte: elaboração própria, 2024.

Figura 6.2 – Resultados dos hidrogramas comparando as vazões suplementares com as vazões de simulação e observação da Estação Barão de Melgaço (66280000) em 2015



Fonte: elaboração própria, 2024.

Figura 6.3 – Resultados dos hidrogramas comparando as vazões suplementares com as vazões de simulação e observação da Estação Barão de Melgaço (66280000) em 2012



Fonte: elaboração própria, 2024.

7. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES

A análise realizada revela a possibilidade de ampliação do período de vazões altas em Barão de Melgaço por meio da liberação de vazões suplementares de 400 m³/s na UHE Manso, somente com capacidade de vazão turbinada, sem recorrer a liberações adicionais do vertedor. No entanto, essa ampliação não é alcançada em todos os anos avaliados, devido a variáveis climáticas que influenciam a capacidade de Manso atingir objetivos similares de vazão natural em Barão de Melgaço.

Os testes realizados nos anos de 2005 e de 2016 apontaram que a liberação suplementar atingiria vazões maiores que 1000 m³/s durante a mesma quantidade de dias que a vazão naturalizada. Já no ano de 2007, seria em torno de 60% do tempo da vazão naturalizada. Em contrapartida, as vazões suplementares de uma semana não ficaram próximas a vazão naturalizada e, na maioria dos casos, não atingindo 1000 m³/s. Nos anos que as variáveis climáticas são desfavoráveis, exemplificado pelo ano de 2012, nem mesmo a vazão naturalizada ultrapassa o objetivo estipulado. Por outro lado, caso o pico máximo ocorra tardiamente, as liberações adicionais em janeiro não terão efeito no aumento da vazão máxima, explicitado pelo ano de 2015.

É importante reconhecer as limitações inerentes a análise realizada. Por exemplo, a falta de um objetivo ecológico claramente definido dificulta a avaliação da adequação das vazões propostas para os fins ambientais do ecossistema. A ausência de pesquisas específicas compromete a precisão das definições relacionadas a esse aspecto. Além disso, embora haja indícios preliminares sugerindo que vazões maiores que 1000 m³/s possam ser suficientes para o ecossistema em questão, tais pesquisas ainda carecem de aprofundamento e validação.

Além da falta de um objetivo ecológico claramente definido, cabe destacar que o estudo enfrenta desafios relacionados aos aspectos hidrológicos. O modelo de propagação utilizado apresenta limitações na representação do sistema em questão, enquanto a disponibilidade limitada ou ausência de dados



topográficos e características da planície comprometem a precisão das análises realizadas. Ainda, existe a limitação da representação das entradas laterais.

Dessa forma, este trabalho é uma avaliação preliminar dos impactos da operação da UHE Manso na conectividade entre rio e planície em Barão de Melgaço. Ressalta-se, portanto, a necessidade premente de investigações mais aprofundadas e abrangentes para compreender plenamente os impactos das vazões propostas nas dinâmicas dos ecossistemas envolvidos. Posto isto, somente através de uma abordagem multidisciplinar e integrada será possível desenvolver estratégias eficazes para a gestão sustentável dos recursos hídricos na região analisada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, Max; FLORENTINO, Rogério. Obras de infraestrutura e desvio de água em propriedades podem estar por trás de desastre no Pantanal. *Jornal Olhar Direto*. 2021. Disponível em: <<https://www.olhardireto.com.br/noticias/exibir.asp?id=481252¬icia=obras-de-infraestrutura-e-desvio-de-agua-em-propriedades-podem-estar-por-tras-de-desastre-no-pantanal-veja-&edicao=9>>. Acesso em: 24 jan. 2024.

ALVES, Gustavo Benedito Medeiros et al. Mapeamento da inundação por LSWI e caracterização dos fluxos d'água na bacia do Alto Paraguai, Pantanal Norte, Brasil. *Revista Geográfica Venezolana*, v. 60, n. 1, p. 92-105, 2019. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=347766121007>>. Acesso em: 13 jan. 2024.

ANA – Agência Nacional de Águas. Dados de operação dos reservatórios SIN – UHE Manso. SAR – Sistema de Acompanhamento de Reservatórios. 2023. Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/sar0/MedicaoSin?dropDownListEstados=12&dropDownListReservatorios=19086&dataInicial=01%2F01%2F1999&dataFinal=15%2F11%2F2023&button=Buscar>>. Acesso em: 14 jan. 2023.

ANA – Agência Nacional de Águas. Séries Históricas de Estações. Hidroweb: Sistemas de informações hidrológicas. 2023. Disponível em: <<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>>. Acesso em: 13 jan. 2024.

ANA – Agência Nacional de Águas. Plano de recursos hídricos da Região Hidrográfica do Paraguai: Resumo Executivo. Brasília: ANA, 2018. Disponível em: <https://arquivos.ana.gov.br/portal/SAS/PRH_Paraguai/PF-02_PRH_Paraguai_Resumo_Executivo.pdf>. Acesso em: 21 fev. 2024.

BAILLY, Dayani. Influência do regime de cheias na reprodução de espécies de peixes com diferentes estratégias reprodutivas da planície de inundação do rio Cuiabá, Alto Pantanal, Brasil. 2006. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Maringá. Departamento de Biologia. Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1834/9942>>. Acesso em: 13 jan. 2024.

CHAPRA S. C.; CANALE R. P. *Numerical Methods for Engineers*, McGrawHill, New York. 2006.

COELHO, Maria Eduarda Moraes Sarmiento. Avaliação da conectividade de rios na Bacia do Alto Paraguai (BAP). 2020. Disponível em:

<<https://bdm.unb.br/handle/10483/27978>>. Acesso em: 13 jan. 2024.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. *Hidrologia para engenharia e ciências ambientais*. Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH). Porto Alegre. 2013.

CORRÊA, Carlos Eduardo; PETRY, Ana Cristina; HAHN, Norma S. Influência do ciclo hidrológico na dieta e estrutura trófica da ictiofauna do rio Cuiabá, Pantanal Mato-Grossense. *Iheringia. Série Zoologia*, v. 99, p. 456-463, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0073-47212009000400018>>. Acesso em: 13 jan. 2024.

FAN, Fernando Mainardi et al. Um mapa de unidades de resposta hidrológica para a América do Sul. XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Novembro de, 2015. Disponível em: <<https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=8392>>. Acesso em: 13 jan. 2024.

FANTIN-CRUZ, Ibraim et al. Historical reconstruction of floodplain inundation in the Pantanal (Brazil) using neural networks. *Journal of Hydrology*, v. 399, n. 3-4, p. 376-384, 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.01.014>>. Acesso em: 13 jan. 2024.

FANTIN-CRUZ, Ibraim; LOVERDE-OLIVEIRA, Simoni; GIRARD, Pierre. Caracterização morfométrica e suas implicações na limnologia de lagoas do Pantanal Norte. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, v. 30, n. 2, p. 133-140, 2008. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=187116050003>>. Acesso em: 13 jan. 2024.

FANTIN-CRUZ, Ibraim et al. Dinâmica da inundação e conectividade nos processos ecológicos do sítio de mostragem de longa duração-Pantanal. *Anais*, v. 2, p. 150-156, 2009.

FAUSTO, Marcos Alves et al. Estimativa do albedo e do saldo de radiação da superfície no sistema de Baías Chacororé-Sinhá Mariana no Pantanal de Mato Grosso por sensoriamento remoto. *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, v. 17, p. 1876-1883, 2015. Disponível em: <<http://urlib.net/ibi/8JMKD3MGP6W34M/3JJLLP2>>. Acesso em: 13 jan. 2024.

FUGI, Rosemara et al. Ecologia alimentar da corvina, *Pachyurus bonariensis* (Perciformes, Sciaenidae) em duas baías do Pantanal, Mato Grosso, Brasil. *Iheringia. Série Zoologia*, v. 97, p. 343-347, 2007. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0073-47212007000300020>>. Acesso em: 13 jan. 2024.

FURNAS. Usina de Manso. 2023. Disponível em: <<https://www.furnas.com.br/subsecao/124/usina-de-manso?culture=pt>>. Acesso em: 29 out. 2023.

HAWKER, Laurence et al. A 30 m global map of elevation with forests and buildings removed. *Environmental Research Letters*, v. 17, n. 2, p. 024016, 2022. DOI 10.1088/1748-9326/ac4d4f. Disponível em: <<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ac4d4f>>. Acesso em: 14 jan. 2024.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Barão de Melgaço. Censo Brasileiro de 2022. Rio de Janeiro: IBGE, 2023.

Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mt/barao-de-melgaco/panorama>>. Acesso em: 14 jan. 2024.

IPHAN. Complexo de Áreas Protegidas do Pantanal (MT/MS). [2023?]. Disponível em: <<http://portal.iphan.gov.br/pagina/detalhes/40>>. Acesso em: 06 jan. 2024.

JARDIM, Pedro Frediani et al. A modeling assessment of large-scale hydrologic alteration in south American pantanal due to upstream dam operation. *Frontiers in Environmental Science*, v. 8, p. 567450, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.567450>>. Acesso em: 14 jan. 2024.

Jardim, P. F.; Collischonn, W. 2024 Sub-daily flow alterations (hydropeaking) due to reservoir operations in Brazil. *RBRH Vol. 29* (accepted).

JUNK, Wolfgang J. et al. The flood pulse concept in river-floodplain systems. *Canadian special publication of fisheries and aquatic sciences*, v. 106, n. 1, p. 110-127, 1989.

LIMA, José Augusto Ferraz de. A pesca no pantanal de Mato Grosso (Rio Cuiabá: Importância dos peixes migradores). *Acta Amazonica*, v. 16, p. 87-94, 1986. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1809-43921986161094>>. Acesso em: 13 jan. 2024.

MAIA, Andreza de Souza et al. Procedimentos para simulações hidrológicas utilizando o HEC-HMS. 2021. Disponível em: <<https://ufsj.edu.br/portal2-repositorio/File/labhidromec/PROCEDIMENTOS%20PARA%20SIMULACOE%20HIDROLOGICAS%20UTILIZANDO%20O%20HEC-HMS.pdf>>. Acesso em: 13 jan. 2024.

MEIRA, Fabiana Cristina et al. Compartimentação e evolução geomorfológica da planície do rio Cuiabá, Pantanal Mato-Grossense. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 20, n. 1, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.20502/rbg.v20i1.1444>>. Acesso em: 13 jan. 2024.

MELLO, Ana de Paula Gonçalves; SANTOS, Jeater Waldemar Maciel Correa. Análise da variação temporo-espacial da qualidade das águas da Lagoa Sinhá Mariana, Pantanal Norte Mato-grossense, a partir de Imagens MODIS em coletas in loco. *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, v. 17, p. 6110-6118, 2015. Disponível em: <<http://marte2.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/marte2/2015/05.31.21.54/doc/@sumario.htm>>. Acesso em: 13 jan. 2024.

MORINI, ALESSANDRA TAVARES; PINTO-SILVA, VANGIL. Composição zooplânctônica da Baía Sinhá Mariana, Pantanal de Barão de Melgaço, MT. *Simpósio sobre Recursos Naturais e Sócio-Econômicos do Pantanal: Os Desafios do Novo Milênio*, Corumbá, MS, 2000.

MOURA, N. A. de; VAL, A. L. Migração lateral de peixes e a vulnerabilidade da Baía do Chacororé, Pantanal de Barão de Melgaço, Mato Grosso, Brasil. *Revista de Biologia Neotropical / Journal of Neotropical Biology*, Goiânia, v. 16, n. 1, p. 1–8, 2019. DOI: 10.5216/rbn.v16i1.46394. Disponível em: <<https://revistas.ufg.br/RBN/article/view/46394>>. Acesso em: 13 jan. 2024.

MOURA, Rubem Mauro Palma de; ZEILHOFER, Peter; SILVEIRA, Alexandre. Proposta para operação ecológica da APM–Manso. XVII SBRH - Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 2017. Disponível em: <<https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=10188>>. Acesso em: 13 jan. 2024.

NASCIMENTO, Samanda Costa do; MELO, Maria Marcella Medeiros; PAZ, Adriano Rolim da. River-floodplain interaction and flood wave routing along rivers flowing through Pantanal wetlands. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 125, p. 104296, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jsames.2023.104296>>. Acesso em: 14 jan. 2024.

NASH, J. Eamonn; SUTCLIFFE, Jonh V. River flow forecasting through conceptual models part I—A discussion of principles. *Journal of hydrology*, v. 10, n. 3, p. 282-290, 1970. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/0022-1694\(70\)90255-6](https://doi.org/10.1016/0022-1694(70)90255-6)>. Acesso em: 13 jan. 2024.

NILSSON, Christer; BERGGREN, Kajsa. Alterations of riparian ecosystems caused by river regulation: Dam operations have caused global-scale ecological changes in riparian ecosystems. How to protect river environments and human needs of rivers remains one of the most important questions of our time. *BioScience*, v. 50, n. 9, p. 783-792, 2000. Disponível em: <[https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2000\)050\[0783:AORECB\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2000)050[0783:AORECB]2.0.CO;2)>. Acesso em: 02 dez. 2023.

ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico. Bacia do Rio Paraguai: reservatórios. [2023?]. 1 mapa, color. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/sar/sin/b_paraguai/#>. Acesso em: 13 jan. 2024.

ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico. Vazão afluente. Glossário Operador Nacional do Sistema Elétrico. [2023?]. Disponível em: <<https://www.ons.org.br/paginas/conhecimento/glossario>>. Acesso em: 02 dez. 2023.

ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico. Vazão defluente. Glossário Operador Nacional do Sistema Elétrico. [2023?]. Disponível em: <<https://www.ons.org.br/paginas/conhecimento/glossario>>. Acesso em: 02 dez. 2023.

POPESCU, Ioana. *Computational hydraulics*. IWA Publishing, 2014.

PRINGLE, Catherine M.; FREEMAN, Mary C.; FREEMAN, Byron J. Regional effects of hydrologic alterations on riverine macrobiota in the new world:

tropical-temperate comparisons: the massive scope of large dams and other hydrologic modifications in the temperate New World has resulted in distinct regional trends of biotic impoverishment. While neotropical rivers have fewer dams and limited data upon which to make regional generalizations, they are ecologically vulnerable to increasing hydropower development and biotic patterns are emerging. *BioScience*, v. 50, n. 9, p. 807-823, 2000. Disponível em: <[https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2000\)050\[0807:REOHAO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2000)050[0807:REOHAO]2.0.CO;2)>. Acesso em: 13 jan. 2024.

RABELO, Angelo Paccelli Cipriano; SOUZA, Marcel Garcia de. *Bacia do Alto Paraguai: uma viagem no tempo*. 2021. Disponível em: <<http://ridi.ibict.br/handle/123456789/1199>>. Acesso em: 13 jan. 2024.

REDE PANTANAL. *Cenários pantaneiros: hidrelétricas na Bacia do Alto Paraguai*. 2010. Disponível em: <<https://ecoa.org.br/cenarios-pantaneiros-hidreletricas-na-bacia-do-alto-paraguai/>>. Acesso em: 25 jan. 2024.

RESENDE, Emiko Kawakami de. *Pulso de inundação: processo ecológico essencial à vida no Pantanal*. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2008. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/807537>>. Acesso em: 13 jan. 2024.

REVISTA FURNAS, Número 317, Fev. 2005, p. 6. Disponível em: <<https://www.furnas.com.br/subsecao/251>>. Acesso em: 07 jan. 2024.

SILIO-CALZADA, Ana et al. Long-term dynamics of a floodplain shallow lake in the Pantanal wetland: Is it all about climate?. *Science of the Total Environment*, v. 605, p. 527-540, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.183>>. Acesso em: 13 jan. 2024.

SILVA, Antônio José. *Aspectos da Alimentação do pacu adulto, Colossoma mitrei (BERG, 1985) (PISCES, CHARACIDAE), no Pantanal de Mato Grosso*. Tese de Mestrado em Ciências Biológicas (Zoologia). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 1985.

SILVA, C. J.; ALBERNAZ-SILVEIRA, Ruth; NOGUEIRA, Pedro S. Perceptions on climate change of the traditional community Cuiaba Mirim, Pantanal wetland, Mato Grosso, Brazil. *Climatic change*, v. 127, p. 83-92, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10584-014-1150-z>>. Acesso em: 13 jan. 2024.

SOBRINHO, Jeziel André Ferreira; ALVES, MC *Variação temporal da assinatura espectral da baía de Chacororé no Pantanal de Mato Grosso*. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, Curitiba, PR, Brasil, v. 5255, 2011.

SOUSA, Romário Rosa de et al. A pesca predatória nas Baias Chacororé e Siá Mariana. *Ateliê Geográfico*, v. 2, n. 3, p. 137-159, 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.5216/ag.v2i3.5339>>. Acesso em: 13 jan. 2024.



TUCCI, E. M. T. Modelos Hidrológicos. Colaboração da Associação Brasileira de Recursos Hídricos/ABRH. 2ª edição. Porto Alegre, Editora da UFRGS. 2005.

TUCCI, C. E. M. Modelos hidrológicos. 1998. Porto Alegre: Ed. Da Universidade: ABRH: 680pp.

UNEMAT. Análise de alterações hidrológicas das baías de Chacororé e Sinhá Mariana (Pantanal Mato-Grossense) e recomendações para recuperação. Nota técnica. 2021.

UNESCO. Pantanal Conservation Area. [2023?]. Disponível em: <<https://whc.unesco.org/en/list/999/>>. Acesso em: 07 jan. 2024.

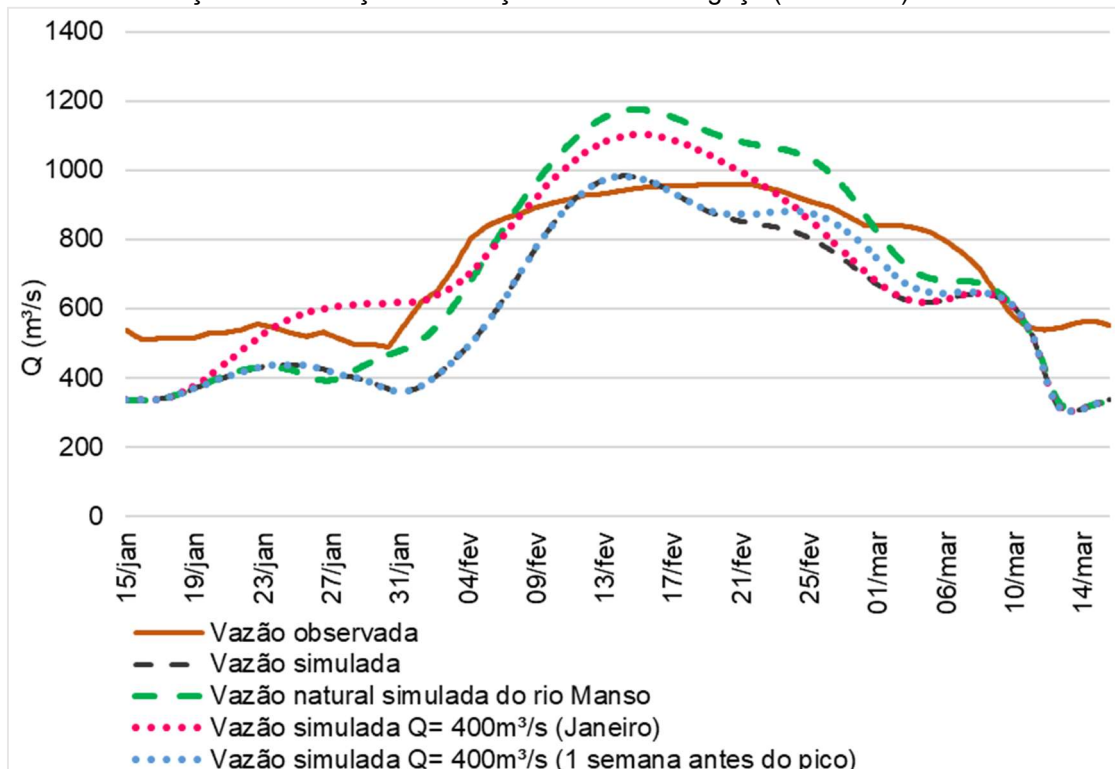
UNIVERSITY OF BRISTOL. FABDEM. [2023?]. Disponível em: <<https://data.bris.ac.uk/data/dataset/s5hqmjcdj8yo2ibzi9b4ew3sn>>. Acesso em: 24 jan. 2024.

USACE - US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center. HEC-HMS User's Manual version 4.10. 2022. Disponível em: <<https://www.hec.usace.army.mil/confluence/hmsdocs/hmsum/4.10>>. Acesso em: 14 jan. 2024.

ZEILHOFER, Peter; DE MOURA, Rubem Mauro. Hydrological changes in the northern Pantanal caused by the Manso dam: Impact analysis and suggestions for mitigation. Ecological Engineering, v. 35, n. 1, p. 105-117, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2008.09.011>>. Acesso em: 13 jan. 2024.

APÊNDICE

Resultados dos hidrogramas comparando as vazões suplementares com as vazões de simulação e observação da Estação Barão de Melgaço (66280000) em 2007



Resultados dos hidrogramas comparando as vazões suplementares com as vazões de simulação e observação da Estação Barão de Melgaço (66280000) em 2016

