

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS

CENTRO DE TECNOLOGIA

ENGENHARIA CIVIL

Milena Larisa Abreu da Silva

**ALOCAÇÃO NEGOCIADA DE ÁGUA DO SISTEMA HÍDRICO BÁLSAMO:  
ESTUDOS COMPLEMENTARES**

Maceió

2021

Milena Larisa Abreu da Silva

**ALOCAÇÃO NEGOCIADA DE ÁGUA DO SISTEMA HÍDRICO BÁLSAMO:  
ESTUDOS COMPLEMENTARES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado para o curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas como forma de obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Marllus Gustavo Ferreira Passos das Neves

Co-orientador: Msc. Alberonaldo Lima Alves

Maceió

2021

**Catálogo na Fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**  
**Divisão de Tratamento Técnico**

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

S586a Silva, Milena Larissa Abreu da.  
Alocação negociada de água do Sistema Hídrico Bálamo : estudos complementares / Milena Larissa Abreu da Silva. – Maceió, 2021.  
59 f. : il., graf. e tabs. color.

Orientador: Marllus Gustavo Ferreira Passos das Neves.  
Co-orientador: Alberonaldo Lima Alves.  
Monografia (Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Civil) –  
Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2021.

Bibliografia: f. 56-59.

1. Regionalização de vazões (Hidrologia). 2. Bálamo, Reservatório (Alagoas/Pernambuco). 3. Recursos hídricos - Demanda. 4. Curvas-guia (Hidrologia). I. Título.

CDU: 556.18:556.51



Universidade Federal de Alagoas – UFAL  
Centro de Tecnologia – CTEC  
Coordenação do Curso de Engenharia Civil – CCEC  
Cidade Universitária – Campus A. C. Simões  
Tabuleiro do Martins – CEP 57072-970 – Maceió – Alagoas  
Tel: (0\*\*82) 32141278 – Fax: (0\*\*82)32141625  
Site: <http://www.ctec.ufal.br/engcivil> – E-mail: [engcivil@ctec.ufal.br](mailto:engcivil@ctec.ufal.br)



## ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Às 13 horas do dia 15 de setembro de 2021, em uma reunião online no google meet, reuniu-se a banca examinadora para avaliação e defesa do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) da aluna Milena Larisa Abreu da Silva, sob o título “Alocação negociada de água do sistema hídrico Bálamo: Estudos complementares”, composta pelos seguintes participantes:

Orientador: Prof(A<sub>1</sub>): Marllus Gustavo Ferreira Passos das Neves,

Co-orientador: Alberonaldo Lima Alves,

Prof Avaliador (A<sub>2</sub>): Altair Maciel de Barros,

Prof Avaliador (A<sub>3</sub>): Valmir de Albuquerque Pedrosa.

A apresentação oral do aluno foi realizada em 30 minutos, findos os quais foi iniciado o debate, perfazendo um tempo total de defesa de 01 hora (s) e 30 minutos.

O aluno obteve média final 9,8 ( nove inteiros e oito décimos )

Abaixo, assinatura do orientador, seguida dos membros da banca, de acordo com a ordem listada acima, todos seguidos da respectiva nota, a assinatura do aluno e a assinatura do Coordenador do TCC.

Prof (A<sub>1</sub>) [Assinatura], nota final 9,9

Prof (A<sub>2</sub>) [Assinatura], nota final 10,0

Prof (A<sub>3</sub>) [Assinatura], nota final 9,5

Aluno: Milena Larisa Abreu da Silva

Coordenador do TCC: \_\_\_\_\_



Universidade Federal de Alagoas – UFAL  
Centro de Tecnologia – CTEC  
Coordenação do Curso de Engenharia Civil – CCEC  
Cidade Universitária – Campus A. C. Simões  
Tabuleiro do Martins – CEP 57072-970 – Maceió – Alagoas  
Tel: (0\*\*82) 32141278 – Fax: (0\*\*82)32141625  
Site: <http://www.ctec.ufal.br/engcivil> – E-mail: [engcivil@ctec.ufal.br](mailto:engcivil@ctec.ufal.br)



## ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

### Sugestões de correções:

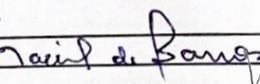
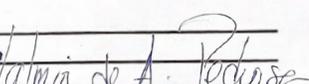
Os documentos com as correções foram encaminhados para o aluno.

Assinatura:

A<sub>1</sub>

A<sub>2</sub>

A<sub>3</sub>



## ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

### Parecer:

Deverão ser dadas notas ao trabalho (de zero a 10) considerando o desempenho do(a) aluno(a) nas 3 áreas de análise (Monografia, Apresentação oral do trabalho e Arguição).

A nota final de cada avaliador, denominada  $NFA_n$ , será calculada da seguinte forma:

$$NFA_n = (0,6 \times \text{Monografia} + 0,2 \times \text{Apresentação oral do trabalho} + 0,2 \times \text{Arguição})$$

$$A_1: NFA_1 = (0,6 \times \underline{9,8} + 0,2 \times \underline{10,0} + 0,2 \times \underline{10,0}) = \underline{9,9}$$

$$A_2: NFA_2 = (0,6 \times \underline{10,0} + 0,2 \times \underline{10,0} + 0,2 \times \underline{10,0}) = \underline{10,0}$$

$$A_3: NFA_3 = (0,6 \times \underline{9,5} + 0,2 \times \underline{9,5} + 0,2 \times \underline{9,5}) = \underline{9,5}$$

A nota final do(a) aluno(a) será a média aritmética das notas atribuídas pelos avaliadores:

$$\text{Nota Final} = (NFA_1 + NFA_2 + NFA_3) / 3$$

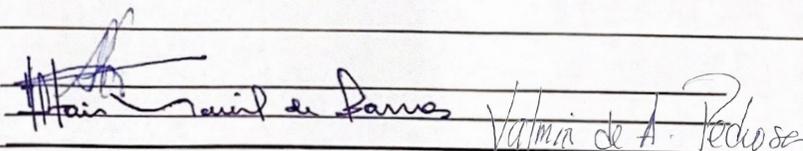
**Nota Final = 9,8**

Assinatura:

A<sub>1</sub>

A<sub>2</sub>

A<sub>3</sub>

  
Valmir de A. Pedrosa

## AGRADECIMENTOS

Passa um filme na memória de tudo o que passei pra chegar até aqui. Foram vários os momentos em que pensei em desistir, vários momentos de dificuldades, mas Deus nunca soltou a minha mão e está permitindo que eu conclua a minha graduação. O sentimento de gratidão me preenche agora, e nada mais justo do que deixar aqui nesse espaço um pouquinho do reconhecimento que cada um merece por ter caminhado ao meu lado.

Não poderia ser diferente. Primeiramente todo o meu amor e agradecimento aos meus pais por terem me dado todo o suporte necessário e nunca terem me deixado desistir. Especialmente a minha mãe, por todo o cuidado, todas as orações, todas palavras de consolo e carinho nas horas em que mais precisei. Minha mãe é minha maior força, e é por ela que sigo nesse caminho buscando cada vez mais coisas boas pra nossa vida. Tudo por você sempre será pouco mãe, eu te amo infinitamente.

Agradeço ao meu amor de muitos anos, meu namorado, por estar ao meu lado desde antes dessa luta se iniciar. Foram muitas as dificuldades no nosso caminho, dificuldades essas que sempre enfrentamos juntos e que nos tornaram mais fortes. Minha maior sorte na vida foi ter encontrado você. Como colocar em palavras todo o reconhecimento que você merece por te me ajudado tanto? Incontáveis dias me ensinando cálculo, física, mecânica e tantas outras matérias. Grande parte dessa vitória eu coloco na sua conta, sem você teria sinto mil vezes mais difícil chegar até aqui. Obrigada por ser fonte de inspiração, respeito, sabedoria, e muito amor. Mesmo depois de tanto tempo juntos, sinto que nossa história está só começando. Te amo demais.

Aos meus amigos Bruno, Ana Elza, Leonardo, Christian, Helena e Yanna por terem me recebido tão bem em suas vidas. Agradeço por todos os momentos juntos, com certeza chegar na UFAL cedinho e ter vocês para dividir todos os problemas e a carga pesada da graduação tornou tudo melhor. Tenho orgulho de cada um de vocês e sei que nada menos que o sucesso é o cada um vai ter em suas vidas.

Às amigas que a engenharia ambiental me deu: Ana, Nathacha, Mariana e Flávia. Com certeza foi coisa do destino, eu tinha que conhecer vocês. Obrigada por serem sempre colo quando eu precisei, por toda a ajuda e carinho que sempre foram direcionados a mim. Não faria nada diferente só pra não deixar de ter vocês na minha vida.

Aos meus orientadores, Abel e Marllus, por me guiarem durante esse processo de escrita do TCC, sempre no momento que achei que não ia dar certo, me mostraram um caminho.

Especialmente ao professor Marllus, por me acompanhar desde o começo do curso, me dando a oportunidade que eu tanto queria da iniciação científica. O senhor sempre foi um exemplo de professor, de orientador e ser humano.

À SEMARH, por me permitir mergulhar mais na área de recursos hídricos, pela qual me apaixonei e pretendo seguir. Por me dar a oportunidade de ter como chefe uma das melhores pessoas e profissionais que já conheci e que devo muito do meu aprendizado: o Altair. Obrigada por toda paciência, ensinamentos e exemplo de como um profissional deve ser.

E finalmente á UFAL, por me proporcionar um ensino público de qualidade e me apresentar vários mundos que eu não conhecia. Serei uma profissional melhor devido ao ambiente propício ao desenvolvimento em que estudei.

## RESUMO

No Brasil, as demandas de água têm crescido significativamente nas últimas décadas devido ao processo de desenvolvimento econômico, ao incremento dos contingentes populacionais e à quantificação, cada vez mais fundamentada, das necessidades ambientais. Por sua vez, as limitadas disponibilidades hídricas são caracterizadas pela distribuição geográfica e temporal, por vezes incapazes de atender às demandas. Esse cenário conduz à necessidade de implementação de instrumentos de gestão dos recursos hídricos. Nesse contexto, os mecanismos de alocação de água podem contribuir para a aplicação mais eficiente desses instrumentos de gestão. No estado de Alagoas, um dos exemplos de conflito pelo uso da água onde foi necessário se estruturar um termo negociado de alocação ocorreu no reservatório da barragem do Bálsamo. O atual termo de alocação desse reservatório está em vigência até agosto de 2021, no entanto, este termo apresenta limitações quanto a restituição do registro histórico dos volumes de água no reservatório e na elaboração de um balanço hídrico com dados mais atualizados. Diante da importância desse reservatório para os participantes do termo de alocação, o presente trabalho teve como objetivo elaborar um estudo hidrológico no Sistema Hídrico Bálsamo visando avaliar a situação demanda *versus* disponibilidade e subsidiar a alocação negociada de água no período 2021/2022. Para o estudo foram realizados levantamentos de dados sobre a barragem e seu reservatório, sobre a alocação, bem como de dados hidrológicos. Com isso, realizou-se a obtenção da série de vazões afluentes ao reservatório, utilizada na elaboração do balanço hídrico, sendo esse usado para analisar o cenário atual do termo e analisar também todos os outros cenários propostos. Os resultados mostram que o reservatório não tem disponibilidade hídrica para abastecer as demandas atuais do termo, e que a descarga de fundo atual está muito elevada. O melhor cenário encontrado foi quando essa descarga de fundo foi reduzida para o mínimo recomendado pela SEMARH, onde mesmo assim foi verificado falhas em alguns anos. Para esse melhor cenário foram elaboradas as curvas-guia do reservatório com os estados hidrológicos, o que pode ajudar na operação do mesmo. O pior cenário foi verificado quando a demanda do perímetro de irrigação foi simulada junto com as demandas atuais, mostrando que não há condições hidrológicas dessa nova demanda ser instalada. Para todas as situações, a porcentagem de falha é alta. Por fim, fica a recomendação de novos estudos hidrológicos para a verificação da possibilidade de aumento de armazenamento de água no reservatório, como a elaboração de curvas cota-área-volume mais atualizadas, já que a ANA recomenda essa atualização quando o reservatório completa 20 anos de operação, o que está quase acontecendo.

## ABSTRACT

Water demands have been growing significantly in the last decades in Brazil, due to the process of economic development, increasing population contingents and the more and more grounded quantification of environmental necessities. On the other hand, the limited water availability is especially characterized by being sometimes inadequately distributed over time and geography to accommodate demands. This scenario leads to the necessity to implement water resources management instruments. Thus, the water allocation mechanisms can contribute to the more efficient application of these management instruments. In Alagoas, one of the examples of conflict over the use of water which was necessary to structure a negotiated allocation term occurred in the Balsamo reservoir. The current allocation term is valid until August 2021, however, this term has limitations regarding the restitution of the historical record of water volumes in the reservoir and the preparation of a water balance with more updated data. Given the importance of this reservoir for the participants of the allocation term, this paper aimed to prepare a hydrological study on the Balsam Water System in order to analyze the demand versus availability situation and support the negotiated allocation of water in the 2021/2022 period. This paper was supported by data acquisition about both the reservoir and the water allocation, as well as on hydrological data. Therefore, the series of affluent outflows was obtained and used in the preparation of the water balance, which is used to analyze the current scenario of the term and also analyze all other proposed scenarios. The results show that the reservoir does not have enough water to supply the current demands of the term, and that the current bottom outflow is very high. The best scenario was when the bottom outflow was reduced to the minimum recommended by SEMARH, but yet failures were still verified in some years. For this best scenario, the reservoir's guide curves were developed with the hydrological states, which can help in its operation. The worst scenario was verified when the irrigation perimeter demand was simulated alongside with the current demands, showing that there are no hydrological conditions for this new demand to be installed. For all situations, the failure percentage is high. Finally, new hydrological studies to verify the possibility of increase water storage in the reservoir are strongly recommended, such as the development of more updated depth-area-volume curves, since ANA recommends it when the reservoir completes 20 years of operation, which is almost completed.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação esquemática das entradas e saídas de um reservatório.....	20
Figura 2 – Fluxograma das etapas metodológicas.....	22
Figura 3 – Mapa de localização e acesso à barragem do Bálsamo.....	23
Figura 4 – Bacia hidrográfica do rio Paraíba.....	24
Figura 5 – Curvas-guia dos estados hidrológicos.....	30
Figura 6 – Interface gráfica e sistema inserido para simulação.....	31
Figura 7 – Interface de inserção dos dados de cota-área-volume.....	32
Figura 8 – Interface de inserção dos dados de evaporação mensal.....	32
Figura 9 – Interface de inserção de dados de vazão afluente e demandas.....	33
Figura 10 – Níveis observados no reservatório.....	36
Figura 11 – (a) curva cota x volume.....	37
Figura 11 – (b) curva cota x área.....	37
Figura 12 – Estações pluviométricas no rio Paraíba.....	39
Figura 13 – Estações fluviométricas no rio Paraíba.....	40
Figura 14 – Período de dados em comum das estações em análise.....	41
Figura 15 – Período sem falhas das estações em análise.....	41
Figura 16 – Estação de Atalaia (39870000).....	42
Figura 17 – Estação de Viçosa (39860000).....	42
Figura 18 – Estação de Vila São Francisco (39852000).....	42
Figura 19 – Estação de Porangaba (39880000).....	43
Figura 20 – Estação de Brejão (39800000).....	43
Figura 21 – Estações fluviométricas analisadas.....	44
Figura 22 – Coeficiente de correlação entre Atalaia e Viçosa.....	44
Figura 23 – Curva de permanência da estação de Atalaia.....	45
Figura 24 – Curva de permanência da estação de Viçosa.....	45
Figura 25 – Vazões médias mensais.....	46
Figura 26 – Curva de permanência regionalizada da estação de Atalaia.....	47
Figura 27 – Curva de permanência da série gerada pelo MODHAC.....	47
Figura 28 – Volumes observados para o cenário 1.....	48
Figura 29 – Volumes observados para o cenário 2.....	48
Figura 30 – Volumes observados para o cenário 3.....	49
Figura 31 – Volumes observados para o cenário 4.....	49
Figura 32 – Volumes observados para o cenário 5.....	50
Figura 33 – Volumes observados para o cenário 6.....	51

Figura 34 – Ciclo hidrológico anual.....	52
Figura 35 – Curvas-guia para o reservatório Bálamo.....	53

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Paralelo entre alocação negociada de água e mediação de conflitos.....	17
Tabela 2 – Usos alocados 2020/2021.....	21
Tabela 3 – Cenários de demanda.....	28
Tabela 4 – Dados de cota-área-volume.....	32
Tabela 5 – Dados de evaporação média mensal.....	32
Tabela 6 – Dados de Q90 mensal.....	33
Tabela 7 – Dados de demanda por estado hidrológico.....	33
Tabela 8 – Características gerais.....	34
Tabela 9 – Barragem principal.....	34
Tabela 10 – Barragem auxiliar e vertedouro.....	35
Tabela 11 – Muro de proteção.....	35
Tabela 12 – Tomada d’água.....	35
Tabela 13 – Informações de Cota, Área e Volume.....	37
Tabela 14 – Estações pluviométricas no rio Paraíba.....	38
Tabela 15 – Estações fluviométricas no rio Paraíba.....	39
Tabela 16 – Q90 de Atalaia e Viçosa.....	42
Tabela 17 – Q90 de Atalaia e MODHAC.....	47
Tabela 18 - Porcentagem de falha em cada cenário.....	51
Tabela 19 – Volumes para os estados hidrológicos.....	52

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	12
2	OBJETIVOS.....	13
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
3.1	Conflitos pelo uso da água.....	13
3.2	Alocação negociada de água.....	16
3.2.1	Mediação .....	18
3.3	Reservatórios e barragens .....	18
3.3.1	Definições.....	18
3.3.2	Balanço hídrico em reservatórios .....	19
3.4	Termo de alocação negociada do sistema hídrico Bálamo.....	20
4	METODOLOGIA .....	22
4.1	Caracterização da área de estudo .....	22
4.1.1	Localização e acesso à barragem do Bálamo.....	22
4.1.2	A barragem do Bálamo no contexto da bacia hidrográfica do rio Paraíba .....	23
4.2	Aquisição de dados e informações.....	25
4.3	Série histórica de vazões .....	26
4.4	Cenários de demanda .....	27
4.5	Elaboração das curvas-guia.....	29
5	RESULTADOS .....	34
5.1	Aquisição de dados e informações.....	34
5.1.1	Aspectos construtivos da barragem .....	34
5.1.2	Níveis do reservatório Bálamo.....	35
5.1.3	Curvas cota-área-volume do reservatório Bálamo.....	36
5.1.4	Perímetro de irrigação do Bálamo .....	37
5.1.5	Postos Pluviométricos .....	38
5.1.6	Postos Fluviométricos .....	39
5.2	Construção da série histórica de vazões afluentes à barragem .....	40
5.3	Simulação do balanço hídrico no reservatório.....	47
5.4	Curvas-guia.....	52
6	CONCLUSÃO .....	54
7	REFERÊNCIAS.....	56

## 1 INTRODUÇÃO

Por lidar com um bem vital e de uso comum, a alocação de água se depara com um dilema social que exige a tomada de decisões para o atendimento simultâneo dos seres vivos, para a sadia qualidade de vida, sem que, por outro lado, prejudique o desenvolvimento dos setores produtivos dos países e o equilíbrio dos ecossistemas (ABREU, 2015).

Esse desafio, aliado ao risco de escassez hídrica e ao uso indiscriminado, tende a agravar a disputa ou produzir conflito pelo uso desse bem, o que implica a necessidade de se buscar solução para atenuá-la. O problema é que, pela complexidade envolvida, a tomada de decisão na alocação da água não pode ser resolvida somente por proposições quantitativas formais. São necessárias pesquisas que proponham metodologias para apoiar a compreensão do conflito e que auxiliem na tomada de decisão da alocação dos recursos hídricos (ABREU, 2015).

É questão central para o incremento da segurança hídrica o fortalecimento de um processo negociado de alocação de água que considere as especificidades setoriais na definição de medidas de restrição de consumo de água ou tarifas de contingência no setor. É fundamental que as decisões sobre restrição de uso de água sejam antecedidas por minucioso acompanhamento transparente e amplo da criticidade do evento extremo e das decisões planejadas (SUDENE, 2018).

Em 2017 houve uma crise hídrica nas águas do reservatório Bálamo, localizado na divisa entre os estados de Pernambuco e Alagoas. Os envolvidos na disputa foram duas companhias de saneamento – a Companhia de Saneamento de Pernambuco (COMPESA) e a Companhia de Saneamento de Alagoas (CASAL) – um grupo de pequenos irrigantes, o povoado de Rua Nova, no município de Quebrangulo – AL, e a Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Alagoas (SEMARH-AL) (SOARES NETO; PEDROSA, 2018).

Desse conflito pelo uso da água surgiram negociações que culminaram no termo de alocação de água do reservatório em questão, com vigência de outubro de 2020 a agosto de 2021 (ANA, 2020). Mas, com o iminente fim do termo, surgiu a necessidade de estudos adicionais que contemple, por exemplo, a restituição do registro histórico dos volumes de água no reservatório do Bálamo e a elaboração de um balanço hídrico com dados mais atualizados, visto que a implantação da medição diária de níveis do reservatório só se deu no ano de 2018, quando a barragem já estava em operação desde 2004.

Assim, a elaboração desse trabalho tem fundamental importância em avaliar a situação

atual do reservatório por meio de seu balanço hídrico, verificando se a disponibilidade hídrica existente é suficiente para suprir as demandas do termo de alocação, somada a demanda do perímetro de irrigação, que ainda não foi implantado. Se a disponibilidade hídrica não for suficiente para atender as demandas, será proposto novos cenários condizentes com o reservatório. Há também o intuito de gerar curvas-guia para o melhor cenário verificado, que servirão de base para a operação desse reservatório.

## **2 OBJETIVOS**

O objetivo geral é elaborar um estudo hidrológico no Sistema Hídrico Bálamo visando avaliar a situação demanda *versus* disponibilidade e subsidiar a alocação negociada de água no período 2021/2022.

Os objetivos específicos consistem em:

- a) Apresentar o cenário atual de demanda hídrica no Sistema Hídrico Bálamo;
- b) Propor cenários de uso (demanda hídrica) condizentes com a realidade atual no sistema hídrico Bálamo;
- c) Elaborar um modelo de balanço hídrico do sistema hídrico Bálamo de maneira a oportunizar a elaboração de estudos via simulação dos cenários, auxiliando a tomada de decisões quanto ao uso da água;
- d) Apresentação de uma proposta para curvas-guia representativas para cada um dos estados hidrológicos (normal, alerta, prioritários).

## **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **3.1 Conflitos pelo uso da água**

A água doce é um recurso natural finito e a demanda crescente pelo seu consumo vem despertando a preocupação da sociedade e por isso foi o assunto colocado no centro da questão do desenvolvimento sustentável. Esta preocupação é demonstrada por meio de diversas conferências realizadas nas últimas décadas, pela escolha, por parte da Organização das Nações Unidas, do ano de 2003 como o Ano Internacional da Água Doce e pelo estabelecimento, pela mesma entidade, do período 2005- 2015, como a Década da Água (ONU, 2019).

O Brasil é um país distinto dos demais com relação aos seus recursos naturais e, entre estes se destacam os recursos hídricos superficiais e subterrâneos. Com aproximadamente 14% das águas doces do Planeta Terra, o Brasil apresenta, entretanto, sérios problemas de diagnóstico, avaliação estratégica e gestão de seus recursos hídricos (BICUDO et al., 2010).

Apesar da quantidade de água existente no Brasil, existem diversos conflitos, principalmente devido à concentração de diversos usos. Segundo Gomes e Barbieri (2004) conflitos ocorrem quando o uso dos recursos hídricos adquire um caráter competitivo e, portanto, mutuamente excludente, tais como: entre uso urbano ou rural, abastecimento humano ou industrial, satisfação das necessidades de regiões altamente desenvolvidas ou das necessidades de desenvolvimento de regiões periféricas.

A causa dos conflitos ocorre devido à identificação de conflitos quantitativos em relação à oferta e a demanda não compatível, ou seja, é decorrente da má distribuição dos recursos hídricos, tendo como agravante a má gestão deste recurso natural (PEREIRA, 2012).

Devido ao crescimento populacional e ao aumento da demanda de recursos hídricos, a escassez tem se tornado habitual em quase todos os países do mundo (SILVA, 2003). Segundo a Política Nacional de Recursos Hídricos - PNRH (ANA, 2019) adotou-se a outorga de direito de uso como um dos instrumentos de regulação para assegurar a quantidade, a qualidade e o regime do recurso. A concessão de outorgas é condicionada à disponibilidade hídrica da bacia, pois fornece o limite máximo permissível para as demandas.

Quando há uma indefinição de situações entre indivíduos, acerca de bens, esta resulta em conflitos de interesses, que são os choques de interesses de duas partes em relação a um mesmo bem, com o fim de satisfazer suas necessidades, conseqüentemente, gerando uma competição que pode vir a se tornar um fator de instabilidade social, de modo que necessitam ser eliminados, para que os mesmos não ponham em risco a existência de toda uma coletividade (OLIVEIRA, 2007).

Os principais causadores de conflitos pelo uso da água no Brasil são a degradação dos mananciais, diminuição de áreas próprias para captação, devido à poluição orgânica e química, contaminação dos rios por esgoto doméstico, industrial e pluvial, falta de drenagem urbana e falta de coleta seletiva, sendo que todas estas condições comprometem o uso da água em termos de qualidade e quantidade. Os conflitos pelo uso de água referem-se a partir de critérios subjetivos ou evidências de escassez de água sendo que um dos motivos para que ocorra um conflito de uso de água pode ser a inexistência de informações que associem a disponibilidade hídrica com as vazões já outorgadas, e esta inexistência está diretamente ligada na falta de planejamento e gerenciamento de recursos hídricos (MOREIRA et. al., 2012).

Os conflitos existentes entre atores sociais do poder público em relação à gestão das águas têm decorrência da dificuldade de conciliação das funções institucionais. Existe uma

grande carência de dados hidroambientais, o que dificulta a criação de política de fiscalizações ambientais (MAGALHÃES JÚNIOR, 2007).

A Política Nacional de Recursos Hídricos cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Lei 9.433/1997) (BRASIL, 1997) e os Comitês e Agências de Bacias são inseridos justamente para intermediar esses conflitos dos múltiplos usos da água e para implementar a política nacional de recursos hídricos em bacias brasileiras. Mas para os comitês e Agências de bacias alcançarem este objetivo é necessária a implementação dos Instrumentos da política.

Um dos instrumentos é a outorga de direito de uso tendo por objetivo racionalizar e disciplinar o uso, evitando ou equacionando situações de conflito. Dessa maneira, é possível o controle dos volumes captados em uma determinada bacia hidrográfica, do período em que as captações ocorrem e sua finalidade, contemplando os usos prioritários e as determinações dos planos de recursos hídricos e dos comitês de bacia hidrográfica (CRUZ, 2001).

Os instrumentos de gestão possuem objetivos de aplicação distintos e devem ser utilizados para alcançar diferentes fins. Por exemplo, há instrumentos de disciplinamento (outorga), há instrumentos de incentivo (cobrança) e há instrumentos de apoio (sistemas de informação) (PORTO e PORTO, 2008). Com suas respectivas facilidades/dificuldades e vantagens/desvantagens, não são excludentes entre si, embora não seja trivial sua implantação conjunta e de modo articulado. A maior eficácia certamente virá da aplicação conjunta dos diversos instrumentos, utilizando-os de acordo com sua potencialidade para melhor resolver o problema em questão (PORTO e LOBATO, 2004).

Segundo Oliveira e Fioreze (2011), a disponibilidade hídrica necessita de monitoramento contínuo e realização de estudos que contabilizam a situação atual e estimam como será futuramente. Para que a implantação do instrumento da outorga possa ser realizada de maneira mais efetiva, é necessário o conhecimento do comportamento nas bacias hidrográficas, especialmente a determinação das vazões de referência, a fim de fundamentar o processo decisório. Decisões tomadas a partir de informações de vazão pouco representativas podem comprometer a gestão e o planejamento de recursos hídricos.

### **3.2 Alocação negociada de água**

Na gestão de demanda de água, uma forte vertente a ser explorada é a alocação de água, que se caracteriza por ser um processo de gestão empregado para disciplinar os usos em sistemas hídricos assolados por estiagens intensas, com emergência ou forte potencial de conflito (ANA, 2019).

A alocação negociada de água tem como pressuposto a discussão do processo de divisão do recurso e sua negociação. Neste método, as partes têm o poder de decidir sobre a vazão a ser liberada e outras questões apoiada por um suporte técnico que embasa as possíveis decisões a serem tomadas e por uma terceira parte que contribui na construção da solução de compromisso (OLIVEIRA; LUNA, 2013).

A discussão e aprovação da vazão a ser liberada ocorrem através de um seminário, no qual os técnicos apresentam a situação do açude, avaliando a demanda e simulando seu esvaziamento. Após isso, ocorre a deliberação das vazões e os discursões pelas comissões gestoras em debates mediados pelos técnicos. No final, aprova-se uma vazão a ser liberada de forma consensual ou através de votação de propostas de vazão sugeridas pelo grupo e que deva atender a usuários de montante e jusante, com hierarquização dos usos (OLIVEIRA; LUNA, 2013).

Uma vez organizada a comunidade, com o objetivo de democratização das decisões, é necessário ter atitudes de respeito às especificidades da realidade como espaço de negociação para principalmente gerenciar o conflito (OLIVEIRA; LUNA, 2013).

Na alocação negociada os participantes são levados a níveis elaborados de compreensão da realidade através de informações sobre o açude. Os técnicos tem como princípios norteadores o diálogo que se dá em uma relação de respeito, transparência e confiança entre todos os atores envolvidos. Nesse momento oferecem aos usuários informações, conhecimentos e uma base de dados oriundas de diversas fontes e processos para subsidiar as decisões. Durante o processo, torna-se necessário o conhecimento das implicações inerentes a cada uma das alternativas e os benefícios associados as mesmas o que se mostra indispensável para identificar preferências relativas a cada uma das partes, tornando viável uma negociação racional. (CAMPOS; STUART, 2003).

A criação de normas formais ou informais de forma negociada e consensual a serem observadas pelos usuários em relação ao uso, controle e conservação dos recursos hídricos são sempre utilizados. A metodologia tem etapas de acordo com a realidade onde se insere o

reservatório. A cada reunião de alocação se manifestam os diversos interesses e necessidades diferenciadas que muitas vezes são divergentes, exigindo dos técnicos, equilíbrio maturidade e sabedoria para administrar o conflito, sempre levando em conta na negociação a justiça nas diferenças de interesses entre os vários segmentos de usuários. Nesse momento da negociação os técnicos limitam-se a mediadores não tomando partido, de grupos ou indivíduos que queiram impor interesses contrários ao da coletividade (OLIVEIRA; LUNA, 2013).

Em alguns processos de alocação um consenso é atingido, em outros a vazão é negociada através de um processo de votação de propostas. A vazão liberada é acompanhada e avaliada pela referida comissão durante o período da operação (OLIVEIRA; LUNA, 2013).

A alocação negociada, enquanto estratégia de resolução de conflitos, tem etapas que são semelhantes a mediação convencional, porém é uma forma específica de solução de conflitos pelo uso da água. Na tabela 1, a seguir, estão princípios objetivos e técnicas dos dois processos que se assemelham.

Tabela 1 – Paralelo entre alocação negociada de água e mediação de conflitos.

<b>Alocação negociada</b>	<b>Mediação</b>
É um processo de divisão de um bem entre indivíduos com interesses e necessidades conflitantes sendo uma alternativa para a resolução do conflito pelo uso da água	É uma alternativa para a resolução de conflitos. É um procedimento consensual em que as pessoas envolvidas buscam atingir seus interesses e suas necessidades
Envolve a participação dos técnicos que são imparciais, aceitos pelas partes	Participação de um terceiro imparcial
A coordenação da reunião de alocação dialoga e estimula os usuários a fazerem intervenções.	O coordenador do processo (mediador) estimula as partes através do diálogo
As partes não sofrem ameaças nem são coagidas	A liberdade das partes
Na alocação busca-se cooperação para que todos os usuários sejam beneficiados	Não competitividade
Os usuários e técnicos decidem sobre a vazão a ser liberada	Liberado o poder de decisão das partes
Os técnicos são qualificados	Competência do mediador
Processo formal	Informalidade do processo
Objetiva solucionar o conflito pelos usos da água garantindo que todos possam ganhar	A solução dos conflitos
Estimula a cultura da comunicação pacífica a solidariedade, a consciência de direitos e deveres, e a responsabilidade de cada um na solução dos problemas	A prevenção da má administração dos conflitos

<b>Alocação negociada</b>	<b>Mediação</b>
Cada usuário é valorizado, incluído como sujeito fundamental para análise e solução do problema	A inclusão social
Busca efetivar um direito, água, e evitar a violência	Paz social
<b>Técnicas Utilizadas</b>	
Os técnicos procuram escutar com atenção a mensagem verbal simbólica e não verbal que ocorrem durante a reunião	Escuta ativa
As perguntas evitam direcionamento ou pré-julgamento	Perguntas abertas
É elaborado uma ata e registro fotográfico	Anotações, gravações e filmagens.

Fonte: Adaptado de Oliveira; Luna (2013).

### 3.2.1 Mediação

A mediação, dentre outros meios, é uma alternativa de solução de conflitos que a sociedade hoje dispõe para não recorrer a meios judiciais. É um procedimento voluntário e envolve a participação de um terceiro imparcial, o mediador, escolhido pelas partes ou aceito de modo a coordenar o processo, estimulando as partes envolvidas por intermédio do diálogo para que encontrem uma alternativa ponderada (MUSZKAT, 2005).

A mediação de conflitos tem como objetivo a solução de forma não violenta de conflitos, a sua prevenção a inclusão social e a paz social. Utiliza o diálogo como principal meio utilizado para um acordo satisfatório para todos. Na mediação deve-se observar princípios como a liberdade entre as partes, a não competitividade, poder de decisão das partes, participação de terceiro imparcial, a competência do mediador e a informalidade do processo (SALES, 2004).

## 3.3 Reservatórios e barragens

### 3.3.1 Definições

Uma barragem pode ser conceituada como uma obra civil, construída no leito de um rio, para represar suas águas para usos posteriores (AMORIM, 2006). O objetivo maior a se alcançar com a construção de uma barragem, em uma bacia hidrográfica é a constante otimização do uso dos recursos hídricos superficiais. A ELETROBRÁS (2000) observa que a estrutura de uma barragem é construída com a função de represar água, buscando, com a elevação do nível d'água do rio, possibilitar a alimentação da tomada d'água.

Segundo a Resolução N° 143 de 2012 do CNRH, barragem é “qualquer estrutura em um curso permanente ou temporário de água para fins de contenção ou acumulação de substâncias

líquidas ou de misturas de líquidos e sólidos, compreendendo o barramento e as estruturas associadas”. Essa mesma legislação define reservatório como “acumulação não natural de água, de substâncias líquidas ou de mistura de líquidos e sólidos”. Uma barragem é uma obra de engenharia bastante complexa, onde envolve não só profissionais de Hidráulica e Hidrologia como também topógrafos, geólogos e estruturalistas entre outros, além de trabalhar com a conscientização das questões ambientais, com atuação dos profissionais ligados ao meio ambiente (BAPTISTA, 2010).

Pequenas barragens quase sempre estão associadas a reservatórios com pequeno volume, operando a fio d’água, e são estruturas não assistidas e sem dados operacionais. Entretanto, encontra-se em operação no Brasil um grande número de pequenas barragens pertencentes a vários proprietários. Essas barragens têm, em sua maioria, finalidades como açudagem, irrigação e abastecimento humano (PIERRE, 2003).

No Nordeste são utilizados diversos termos para nomear um reservatório de água superficial (tanque, açudeco, barreiro, açude, barragem, represa e outros) que vão de capacidade de armazenamento de centenas ou alguns milhares de metros cúbicos até os 34 bilhões de metros cúbicos do reservatório de Sobradinho (MOLLE, CADIER, 1992). De acordo com os autores, pequeno reservatório é aquele que serve para assegurar o abastecimento no período seco, de modo que garanta o fornecimento de água entre dois períodos chuvosos, mesmo não sendo uma garantia de combate a secas prolongadas. Além disso, muitos reservatórios públicos e privados foram construídos com pouco ou até sem estudos técnicos, por causa da dificuldade de realizar esses estudos, e também a falta de normas técnicas simplificadas e adequadas à pequenos reservatórios.

Pequenos reservatórios têm impacto sobre a disponibilidade hídrica em grande escala, tanto através do reforço da disponibilidade em um sentido como também na diminuição da água para as comunidades de usuários a jusante, servido por grandes reservatórios (KROL, 2011).

### 3.3.2 Balanço hídrico em reservatórios

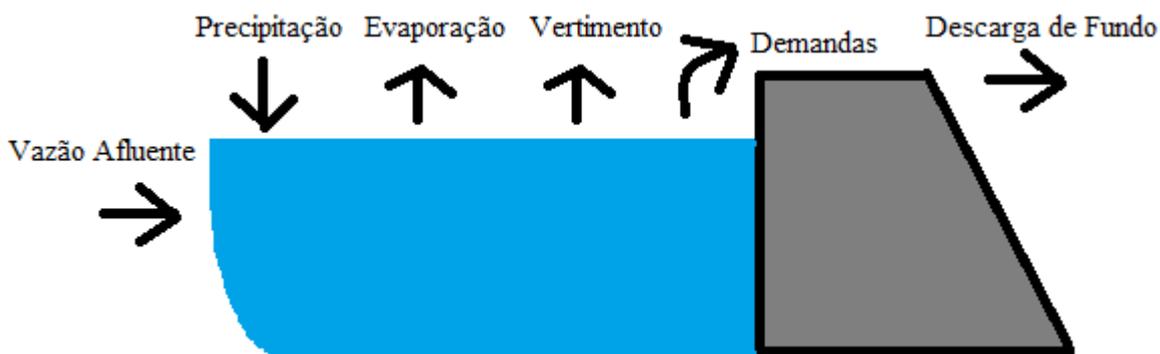
Segundo Andreis (2004), as variações do volume de um reservatório podem ser calculadas pelo balanço hídrico nele. A equação que define este balanço hídrico baseia-se no princípio da equação da continuidade, a qual determina que a quantidade de água que entra menos a quantidade de água que sai deve se igualar a variação da quantidade guardada no reservatório para um intervalo de tempo determinado, representada pela seguinte equação:

$$E - S = \Delta v / \Delta t$$

onde  $E$  = fluxo de entrada do reservatório,  $S$  = fluxo de saída do reservatório, e  $\Delta v / \Delta t = \Delta V =$  variação do volume guardado no reservatório para o intervalo de tempo considerado.

A figura 1 apresenta a representação esquemática das entradas e saídas de água em um reservatório para quantificação do balanço hídrico desse sistema.

Figura 1 – Representação esquemática das entradas e saídas de um reservatório.



Fonte: Autora (2021).

### 3.4 Termo de alocação negociada do sistema hídrico Bálamo

No início do ano de 2017, houve uma crise hídrica na alocação das águas do reservatório Bálamo, localizado na divisa entre os Estados de Pernambuco e Alagoas. Os envolvidos no conflito eram duas companhias de saneamento: a Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) e a Companhia de Saneamento de Alagoas (CASAL), junto com um grupo de pequenos irrigantes, o município de Quebrangulo, em Alagoas, e a Secretaria Estadual de Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos de Alagoas (SEMARH).

O motivo do desentendimento era a abertura da descarga de fundo para garantir uma vazão a jusante. As companhias de saneamento, com receio do reservatório secar antes do início da próxima quadra chuvosa, desejavam manter uma vazão pequena de descarga de fundo. Cinco municípios eram atendidos por este reservatório: Bom Conselho, em Pernambuco e, em Alagoas, Minador do Negrão, Estrela de Alagoas, Quebrangulo e Palmeira dos Índios (SOARES NETO; PEDROSA, 2018).

Na primeira reunião sobre o assunto os detalhes da situação foram narrados e alguns defendiam a ideia de que era possível manter o registro de fundo totalmente aberto e deixar a água correr seu leito natural, o que resolveria a situação de quatro povoados que dependiam desta vazão. Finda esta apresentação, após argumentos contrários, foi decidido que uma solução precisava ser acordada entre as partes envolvidas por meio do conhecimento mais acurado do sistema, por isso, foi apresentada a curva de segurança do reservatório para os quatro meses

vindouros e estimativa de volume de água armazenada nos meses que antecediam o início das chuvas, buscando um consenso sobre que vazão deveria ser mantida para jusante da barragem, além de outras ações de fiscalização e cadastro dos usuários (SOARES NETO; PEDROSA, 2018).

Portanto, decidiu-se que a descarga de fundo com vazão de 60 L/s atendia aos condicionantes da outorga do reservatório, atendia também aos interesses dos usuários de jusante e, sobretudo, não provocaria o colapso do reservatório até o início da próxima quadra chuvosa. Dois anos depois, em dezembro de 2019, a Agência Nacional de Águas realizou a primeira alocação negociada de água do reservatório Bálamo. Desde então, os participantes da reunião recebem o boletim de acompanhamento das ações acordadas. Na tabela 2 é possível ver os usos alocados no termo em vigência (2020/2021).

Tabela 2 – Usos alocados 2020/2021.

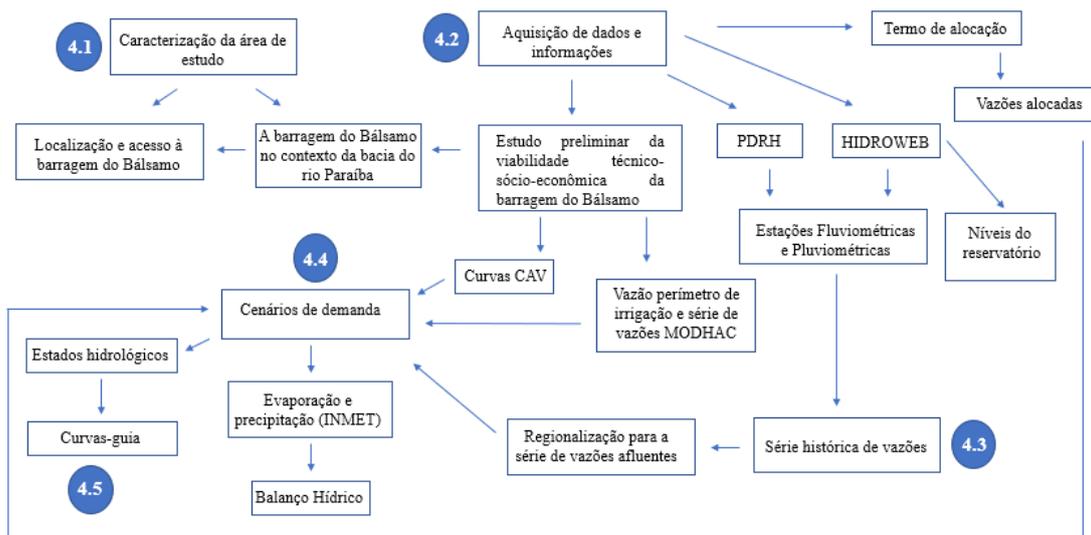
<b>Finalidade</b>	<b>Condição de Uso (Vazão Média Anual)</b>
Abastecimento de Bom Conselho (COMPESA)	40 L/s
Abastecimento de Estrela de Alagoas e Minador do Negrão (CASAL)	20 L/s
Rua Nova (Quebrangulo-AL)	2,57 L/s
Usos no entorno do reservatório	7,43 L/s
Perímetro de irrigação do Bálamo	Depende da efetiva implantação do perímetro de irrigação (0 L/s)
Perenização a jusante	100 L/s

Fonte: ANA (2020).

## 4 METODOLOGIA

Foram consideradas cinco etapas metodológicas: (i) caracterização da área de estudo, (ii) aquisição de dados e informações; (iii) série histórica de vazões; (iv) cenários de demanda e (v) curvas-guia. A Figura 2 apresenta o fluxograma da metodologia utilizada.

Figura 2 – Fluxograma das etapas metodológicas.



Fonte: ANA (2021).

### 4.1 Caracterização da área de estudo

#### 4.1.1 Localização e acesso à barragem do Bálamo

A bacia hidrográfica do riacho Bálamo encontra-se parcialmente inserida no polígono das secas, apresentando um regime característico do semiárido nordestino, face à pluviometria irregular, cujas médias situam-se em torno de 900 mm anuais.

O riacho Bálamo nasce na fazenda Baixa Grande, no município de Bom Conselho-PE a uma altitude média de 400 m em relação ao município de Palmeira dos Índios-AL, tendo o seu alinhamento Norte-Sul, sendo afluente da margem direita do rio Paraíba, com uma vazão de 185 l/s, no período mais crítico da região (SEINFRA, 2011).

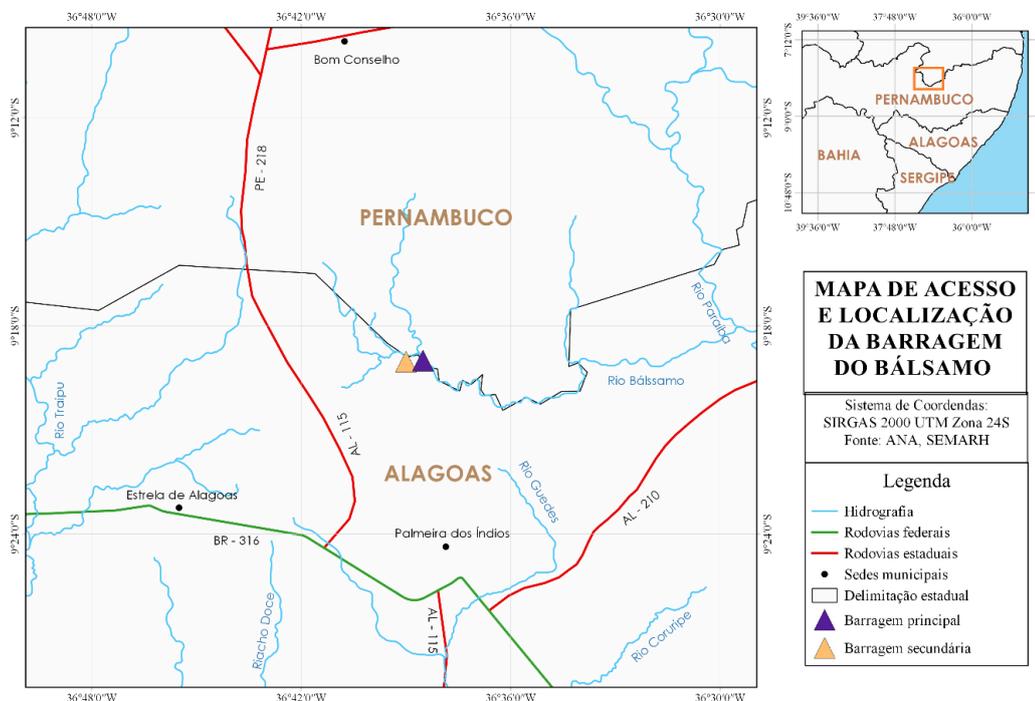
A barragem do Bálamo, também conhecida como Caldeirões, está localizada sobre o riacho Bálamo, pertencente ao sistema hidrográfico do rio Paraíba, situada na divisa dos Estados de Alagoas e Pernambuco, local que dista aproximadamente 15 km a montante da cidade de Palmeira dos Índios-AL.

Caracteriza-se por ser a maior obra hídrica da região, possuindo duas barragens de terra, a principal, situada no entorno das coordenadas 9°19'0,33"S e 36°38'30.83"O, e a auxiliar, no

entorno das coordenadas 9°19'2.23"S e 36°39'0.06"O. A área de contribuição hidrográfica é de 63 km<sup>2</sup> em relação ao barramento.

Na figura 3 é possível perceber que o acesso ao local é feito através da rodovia asfaltada BR-316, sentido Palmeira dos Índios/Santana do Ipanema, até atingir o Posto Fiscal, no entroncamento com a rodovia estadual também asfaltada AL-115. Daí segue por esta rodovia até chegar ao local denominado Boa Sorte e entra por uma estrada de barro à direita, seguindo a mesma até encontrar o Povoado Caldeirões, local onde está situado o barramento (SEINFRA,2001).

Figura 3 – Mapa de localização e acesso à barragem do Bálssamo.



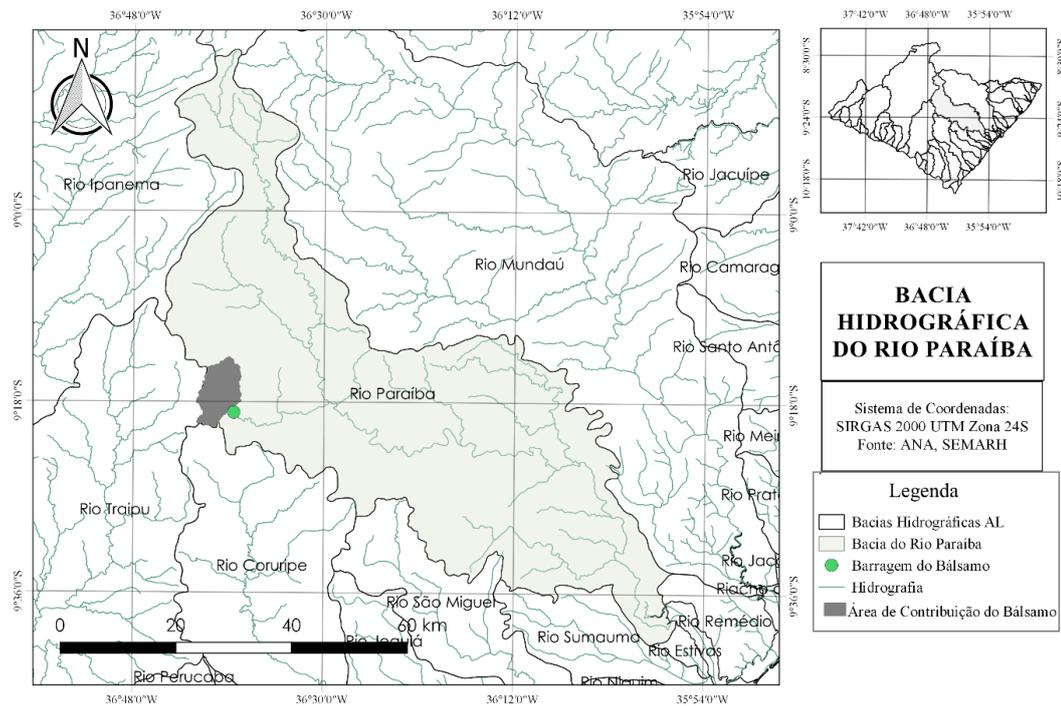
Fonte: Autora (2021).

#### 4.1.2 A barragem do Bálssamo no contexto da bacia hidrográfica do rio Paraíba

A bacia hidrográfica do rio Paraíba situa-se entre os paralelos 08° 44' e 09° 39' de latitude sul e entre os meridianos 35° 45' e 36° 45' de longitude oeste. Limita-se ao norte pela bacia do rio Ipanema, ao sul pelas bacias dos rios São Miguel e Sumaúma, ao leste pela bacia do rio Mundaú e ao oeste pelas bacias dos rios Traipú e Coruripe, como observado na figura 4.

Localizada nos estados de Pernambuco e Alagoas, a bacia hidrográfica do rio Paraíba situa-se na Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Oriental, segundo a divisão adotada pela ANA para as Regiões Hidrográficas Brasileiras.

Figura 4 – Bacia hidrográfica do rio Paraíba.



Fonte: Autora (2021).

Sua área de drenagem é de aproximadamente 3.147 km<sup>2</sup>, sendo 1.989 km<sup>2</sup> (63%) no estado de Alagoas e 1.158 km<sup>2</sup> (37%) no estado de Pernambuco. O rio Paraíba nasce no estado de Pernambuco e deságua na lagoa Manguaba dentro do Município de Pilar. Esta lagoa é uma das maiores de Alagoas, com uma superfície de espelho de água de aproximadamente 42,5 km<sup>2</sup>. Os municípios pertencentes a bacia do rio Paraíba são Palmeira dos Índios, Cajueiro, Capela, Chã Preta, Marechal Deodoro, Marimbondo, Mar Vermelho, Paulo Jacinto, Pilar, Quebrangulo, Viçosa e Pindoba.

O rio Paraíba, também denominado Paraíba do Meio, é perene. Dentro do município de Quebrangulo ele recebe as águas provenientes dos riachos Bálsmo, Quebrangulo e Riachão de Cima. Em Viçosa junta-se a ele o riacho Riachão. O rio Paraibinha, que tem como tributário o rio Recanto, é afluente do Paraíba, ao qual se junta dentro do município de Capela.

Nesta bacia, da parte central até seu exultório, predomina o cultivo de cana-de-açúcar, inclusive os morros e encostas que margeiam o rio. Ao norte, são encontradas culturas de algodão, feijão, banana, milho e pastos. A floresta tropical está presente somente em alguns pontos isolados e pequenos. No extremo norte da bacia do Paraíba destaca-se o Parque Estadual de Pedra Talhada.

Os principais afluentes são: riacho Bálsamo, riacho Quebrangulo, Riachão de Cima e Riachão. O regime dos rios caracteriza-se por cheias violentas com fortes enxurradas no alto e médio vales, apresentando extensões do leito em areias e depósitos de calhaus e blocos rochosos (SEINFRA, 2001).

Aproximadamente, a leste do meridiano 36° 22', esta bacia passa para o domínio das rochas sedimentares da bacia Alagoas-Sergipe. Estes sedimentos, representados pelos arenitos cinzas da formação Penedo, afloram abaixo da cota 70 m e estão capeados pelos clásticos do grupo barreiras. Abaixo do paralelo 10° 2', as margens deste rio são formadas por falésias abruptas do grupo barreiras. É abundante a ocorrência de aluviões arenosos e argilosos, principalmente no baixo curso.

#### **4.2 Aquisição de dados e informações**

O ponto de partida dessa etapa metodológica se deu pela análise do estudo preliminar de viabilidade técnico-sócio-econômico da barragem do Bálsamo, elaborado previamente pelo DNOCS (Departamento Nacional de Obras Contra Secas). O estudo em questão passou por uma revisão realizada pela SERVEAL (Serviço de Engenharia do Estado de Alagoas), onde sofreu algumas adequações de parâmetros de projeto solicitadas pelo Ministério da Integração Nacional, principalmente em função de maior aprofundamento dos estudos pedológicos e complementação geográfica. O estudo é composto por dois volumes, sendo o Volume I, referente ao memorial descritivo e o volume II, contendo os desenhos de projeto.

A partir desse estudo foi possível obter informações imprescindíveis para o trabalho, como a caracterização da área de estudo, o perímetro de irrigação da barragem, localização e acesso à barragem e toda a parte de aspectos construtivos, juntamente com os estudos hidrológicos que culminaram na modelagem hidrológica chuva-vazão feita a partir do MODHAC (Modelo Hidrológico Auto-Calibrável) para se chegar a uma série de vazões afluente ao reservatório (SEINFRA, 2011).

O PDRHP (Plano Diretor de Recursos Hídricos do Paraíba) (Alagoas, 1997) também foi uma fonte importante de informações, mesmo que desatualizada. Ainda assim, foi possível obter uma boa caracterização da bacia do rio Paraíba, como o nome de seus principais afluentes, área de drenagem, demandas previstas e principalmente a distribuição de estações fluviométricas e pluviométricas existentes, sendo essa parte, complementada com as informações do portal HidroWeb da Agência Nacional de Águas. Isso foi importante para

basear um próximo passo da metodologia, que foi a obtenção da série histórica afluenta ao reservatório da barragem do Bálamo.

O HidroWeb também foi utilizado para obter as séries de vazão e precipitação das estações fluviométricas e pluviométricas pertencentes a bacia do rio Paraíba, bem como os dados de níveis no reservatório da barragem através da estação Açude Bálamo (39964000), que puderam ser confirmadas com os dados obtidos na SEMARH (Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos de Alagoas).

Já do termo de alocação negociada, foram retiradas todas as vazões alocadas com o intuito de usá-las no balanço hídrico do reservatório e analisar cenários.

### **4.3 Série histórica de vazões**

Nessa etapa foi feita a análise de todas as estações pluviométricas e fluviométricas da região da bacia do rio Paraíba afim de se encontrar estações com séries longas e representativas e que também estivessem próximas o suficiente da barragem. O intuito seria fazer uma modelagem hidrológica chuva-vazão, e assim obter a série de vazões que chega na barragem.

Após feita a busca, percebeu-se que não havia estações pluviométricas com uma série de dados satisfatória, optando-se então por outro método, a regionalização de vazões. As únicas estações fluviométricas encontradas com dados para análise foram as de Porangaba (39880000), Vila São Francisco (39852000), Brejão (39800000), Viçosa (39860000) e Atalaia (39870000).

Tucci (2002) define regionalização hidrológica como a transferência de informações de um local para outro sem informações, dentro de uma área de comportamento semelhante. A regionalização de vazões tem grande importância no planejamento e na gestão de recursos hídricos, pois gera subsídios para estudos de riscos de enchentes, disponibilidade hídrica para usos, como geração hidráulica, de energia e de abastecimento, bem como em estudos de concessão de outorga de uso da água.

Os dados das estações foram baixados a partir do portal HidroWeb e tratados no software Excel. Os dados de vazões diárias foram organizados em suas respectivas datas para serem visualizados a partir de um gráfico de gantt, de onde foi possível ver quais estações apresentavam um maior período de tempo em comum. Após essa visualização, os dados foram agrupados em um gráfico para analisar em qual período de tempo haviam falhas. Com essas informações disponíveis, esses mesmos dados foram dispostos em gráficos de linhas para serem avaliadas algumas prováveis tendências entre as vazões dessas estações.

A estações que mais apresentaram semelhança nos dados de vazão e também mais anos sem falhas foram Viçosa (39860000) e Atalaia (39870000), como pode ser visto nos resultados. Mas, mesmo assim, a estação de Viçosa possuía uma grande falha entre os anos de 2000 a 2010, o que prejudicava o desejo de se obter a maior e mais representativa série de vazões possível (no mínimo 10 anos).

Ainda assim, foi analisada a correlação entre as vazões do período em comum entre Viçosa e Atalaia (2011 a 2014), além da comparação do valor da Q90 entre elas. A série de Atalaia foi então a escolhida para o uso dos dados, o que também foi balizado pelo fato de a ordem de grandeza dos valores ser semelhante àquela dos valores encontrados na série obtida via simulação hidrológica com o MODHAC (Modelo hidrológico Autocalibrável) (SEINFRA, 2001). A comparação foi feita também por meios das vazões médias mensais e vazões da curva de permanência, como a Q90.

#### 4.4 Cenários de demanda

O balanço hídrico é a diferença entre a entrada e a saída de água do reservatório, e para isso levará em consideração as características técnicas definidas em projeto e o regime hidrológico da região. A análise consiste na verificação de falha, onde se considera que há falha quando o volume simulado é inferior ao volume morto, na cota 514 m.

O balanço hídrico no reservatório é dado pela equação da continuidade:

$$S_{t+1} = S_t + Q_t + P_t - C_t - V_t - E_t - D_t$$

tal que  $0 < S_{t+1} < C$ ,

onde  $S_{t+1}$  é o volume contido no reservatório no fim do período de tempo  $t$ ;  $S_t$  é o volume contido no reservatório no início do período de tempo  $t$ ;  $Q_t$  é a vazão de entrada durante o período de tempo  $t$ ;  $P_t$  é a precipitação durante o período de tempo  $t$ ;  $C_t$  é o volume que foi retirado no período de tempo  $t$  (captações);  $V_t$  é o vertimento durante o período de tempo  $t$ ;  $E_t$  é a perda por evaporação do reservatório durante o período de tempo  $t$ ;  $D_t$  é a descarga de fundo no período de tempo  $t$ ; e  $C$  é o volume de armazenamento máximo do reservatório.

Os dados diários de precipitação e evaporação foram obtidos pelo site do INMET, referida à estação A:327, localizada em Palmeira dos Índios - AL, com disponibilidade de série histórica no período 1961 a 2021 para a precipitação e de 1977 a 2021 para a evaporação. A vazão afluyente foi obtida por meio de regionalização por vazão específica, através da série de vazões da estação de Atalaia, obtendo um período de 1995 a 2014.

A curva cota-área-volume e a demanda do perímetro de irrigação foram encontradas no estudo preliminar de viabilidade técnico-sócio-econômico da barragem do Bálamo. As demandas alocadas no reservatório e a descarga de fundo encontram-se no termo de alocação.

O balanço hídrico para a análise dos cenários foi implementado no Excel pelo método da simulação. Mesmo obtendo uma série de 1995 a 2014, a maior série que se conseguiu obter após todas as pesquisas nas estações fluviométricas, o período de simulação se deu de 2004 a 2014, onde no ano de 2004 foi simulado apenas o enchimento da barragem. Mesmo assim, foi criado o cenário 6 para avaliar o comportamento do reservatório, caso ele operasse desde 1995. Dessa forma, o cenário 6 é semelhante ao cenário 2, ou seja, sem a implementação do perímetro de irrigação, simulando a situação de uma série mais longa, semelhante à série que ocorreu antes da construção da barragem. A série longa pode ser mais representativa do comportamento da bacia hidrográfica de aporte à barragem.

Os cenários, estabelecidos na tabela 3, foram criados a partir da situação atual do reservatório, mantendo a descarga de fundo estabelecida no termo de alocação e propondo a mudança da descarga para 10% da Q90. Também foi analisada a entrada da demanda do perímetro de irrigação, bem como os cenários que serão utilizados para construir as curvas guias do reservatório. O abastecimento humano foi considerado uma demanda prioritária. Consequentemente, as outras demandas serão não prioritárias

Tabela 3 – Cenários de demanda.

Cenário 1	Atendimento de todas as demandas (usos prioritários e não prioritários), de acordo com o termo de alocação.
Cenário 2	Atendimento de todas as demandas (usos prioritários e não prioritários), trocando o valor da descarga de fundo por 10% da Q90. Este também será o estado hidrológico verde.
Cenário 3	Estado hidrológico amarelo: atendimento das demandas prioritárias e 50% das demandas não prioritárias. Descarga de fundo como 10% da Q90.
Cenário 4	Estado hidrológico vermelho: atendimento das demandas prioritárias e 25% das demandas não prioritárias. Descarga de fundo como 10% da Q90.
Cenário 5	Simulação da implantação do perímetro de irrigação com todas as demandas do termo de alocação e descarga de fundo como 10% da Q90.
Cenário 6	Simulação com a série total obtida (1995-2014), com todas as demandas do termo de alocação e descarga de fundo com 10% da Q90.

Fonte: Autora (2021).

#### 4.5 Elaboração das curvas-guia

As curvas-guia são regras de operação e são usadas para indicar volumes (ou níveis d'água) alvos ou ideais do reservatório visando determinados objetivos (BRAVO; COLLISCHONN; TUCCI, 2008). Existe uma curva-guia para cada estado hidrológico.

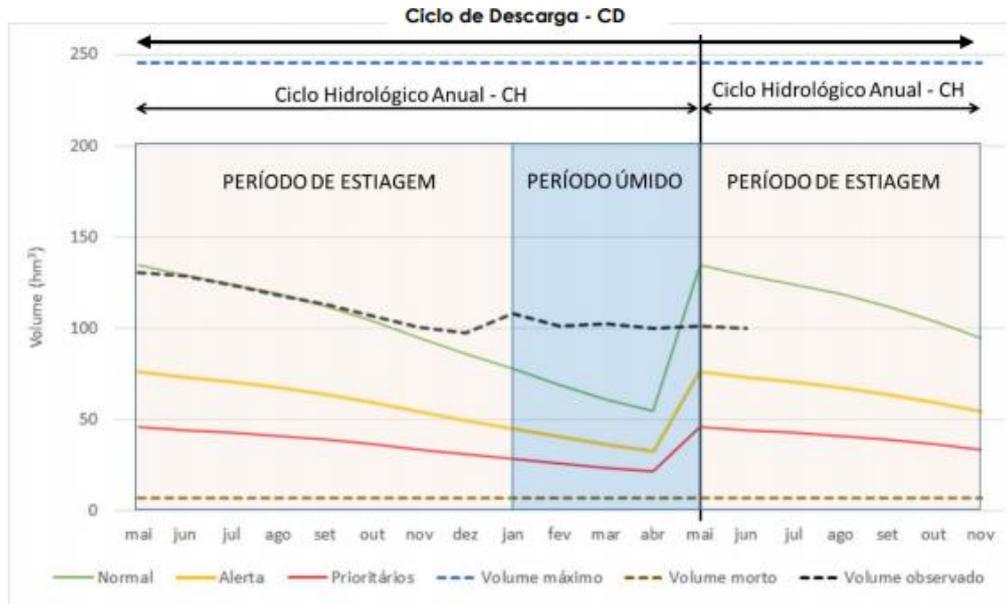
De acordo com a nota técnica nº 10/2015/COMAR/SER (ANA, 2015), utiliza-se as seguintes curvas-guia para cada um dos estados hidrológicos:

- a) Normal (curva-guia Verde) - volume capaz de atender à demanda total existente (usos prioritários e não prioritários), pelo período futuro igual a um ciclo de descarga, considerando mínimas vazões afluentes. Valores abaixo desta curva devem orientar processos de alocação de água cujos limites de negociação são estabelecidos por esta curva e pela curva “Alerta”;
- b) Alerta (curva-guia Amarela) - volume capaz de atender à demanda dos usos prioritários e 50% da demanda dos usos não prioritários, pelo período futuro igual a um ciclo de descarga, considerando mínimas vazões afluentes. Valores abaixo desta curva devem orientar processos de alocação de água cujos limites de negociação são estabelecidos por esta curva e pela curva “Prioritários”;
- c) Prioritários (curva-guia Vermelha) - volume capaz de atender à demanda dos usos prioritários, pelo período futuro igual a um ciclo de descarga, considerando mínimas vazões afluentes. Valores abaixo desta curva não estão sujeitos a deliberação por processos de alocação de água, indicarão a necessidade de intensificação do monitoramento de usos, de restrição formal e plena aos usos não prioritários, efetivação de planos de contingência e de ações emergenciais para atendimento às cidades e a núcleos populacionais rurais afetados e, em caso de racionamento preventivo, restrição formal também a usos prioritários.

Também de acordo com a nota técnica nº 10/2015/COMAR/SER (ANA, 2015), o ciclo de descarga é o número mais frequente de meses consecutivos, calculado a partir da série histórica do volume armazenado, sem que tenha sido observada recuperação deste volume com valor igual ou maior ao registrado no fim do período úmido do ano imediatamente anterior, subtraídos os meses do último período úmido.

A Figura 5 ilustra, para um aúde fictício, as curvas-guia referentes aos estados hidrológicos “Normal”, “Alerta” e “Prioritários”, bem como a evolução dos volumes observados.

Figura 5 – Curvas-guia dos estados hidrológicos.

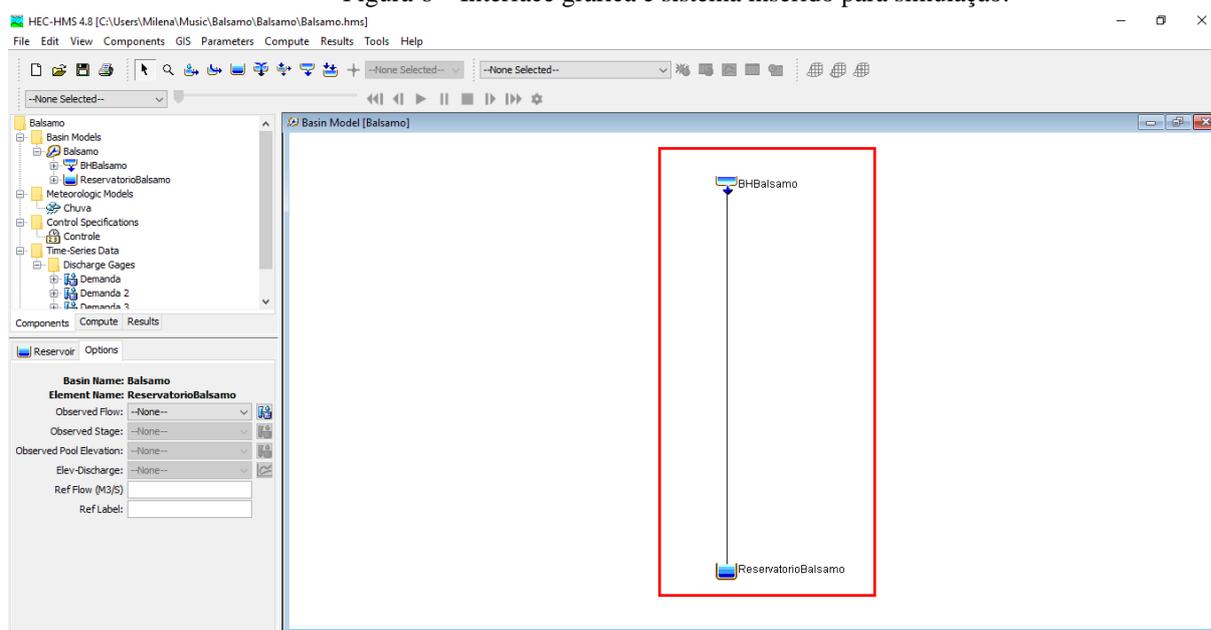


Fonte: ANA (2015).

Para gerar as curvas-guia do reservatório Bálamo foi utilizado o modelo HEC-HMS, que foi criado pelo Corpo de Engenharia do Exército dos Estados Unidos como ferramenta de simulação hidrológica, onde é mais usado nos processos de transformação de chuva em vazão em bacias hidrográficas dendríticas, no qual a bacia é discretizada em sub-bacias. (USACE, 2010). Mesmo sendo mais utilizado para outros fins, foi possível realizar a simulação desejada no programa utilizando as ferramentas de reservatório e criação de fonte, onde é possível ver na figura 6.

Sua interface gráfica permite uma integração “amigável” com o usuário, que também pode ser visto na figura 6, aspecto característico dos diversos componentes do programa e, principalmente, das etapas de representação esquemática da bacia hidrográfica, entrada de dados e visualização dos resultados (COSTA, 2013).

Figura 6 – Interface gráfica e sistema inserido para simulação.



Fonte: Autora (2021).

Como havia ausência de informações mais detalhadas ou séries de vazões afluentes mais extensas (acima de 20 anos), a nota técnica nº 10/2015/COMAR/SER (ANA, 2015) propõe definir o ciclo hidrológico anual a partir do regime pluviométrico da bacia hidrográfica a montante, quando possível, e utilizar, no semiárido, os seguintes valores iniciais:

- a) Para o CH: período úmido e seco com duração de 6 meses;
- b) Para o CD: 2 períodos de estiagem e 1 período úmido, consecutivos.

Logo, com essa proposição, os volumes para os três estados hidrológicos foram simulados no HEC-HSM por um ciclo de descarga de um ano e meio (2 períodos de estiagem e 1 período úmido, consecutivos), com início em 01/08/2021 à 31/12/2022, pois a intenção é dar subsídio para o novo termo de alocação.

Foram utilizados os seguintes dados como entrada:

- a) Curva-cota-área-volume – CAV;
- b) Ciclo de descarga – CD;
- c) Evaporação;
- d) Vazão Afluente (Q90 mensal);
- e) Vazões para atendimento às demandas dos usos.

A seguir, das figuras 7 a 9, e tabelas 4 a 7, são apresentados os dados usados na

simulação no HEC-SMS e como foram inseridos no programa.

Figura 7 – Interface de inserção dos dados de cota-área-volume.



Fonte: Autora (2021).

Tabela 4 – Dados de cota-área-volume.

Cota	Área (m <sup>2</sup> )	Volume (1000 m <sup>3</sup> )
0	0	0,000
2	55700	70,000
6	200000	570,000
10	465000	1820,000
12	567000	2850,000
14	825000	4230,000
16	1049000	6100,000
18	1319000	8460,000
20	1565000	11340,000
21	1696156	13043,518
22	1826000	14730,000
24	2235000	18790,000

Fonte: Autora (2021).

Figura 8 – Interface de inserção dos dados de evaporação mensal.



Fonte: Autora (2021).

Tabela 5 – Dados de evaporação média mensal.

Mês	Evaporação média (mm/mês)
1	202,80
2	177,28
3	179,77
4	124,90
5	86,92
6	61,73
7	61,93
8	72,53
9	105,22
10	162,48
11	208,00
12	218,94

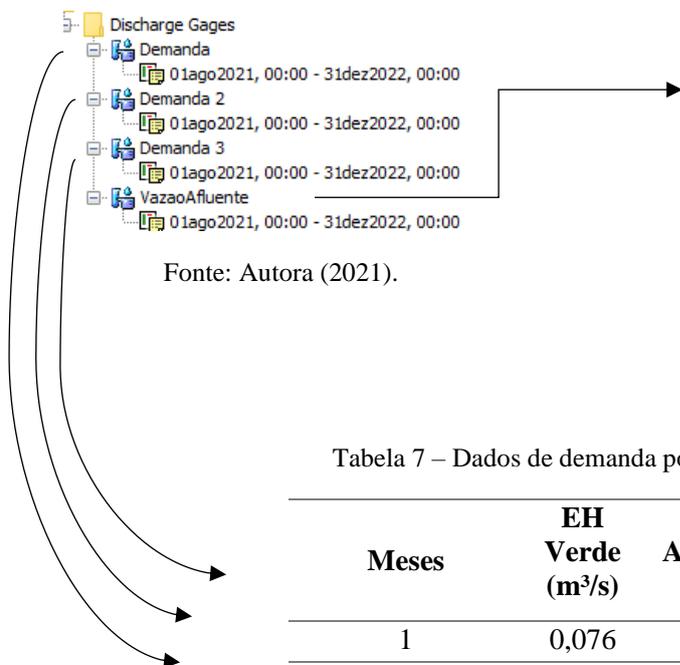
Fonte: Autora (2021).

Tabela 6 – Dados de Q90 mensal.

Mês	Q90 mensal (m <sup>3</sup> /s)
1	0,039
2	0,033
3	0,027
4	0,040
5	0,051
6	0,062
7	0,083
8	0,100
9	0,095
10	0,006
11	0,530
12	0,040

Fonte: Autora (2021).

Figura 9 – Interface de inserção de dados de vazão afluente e demandas.



Fonte: Autora (2021).

Tabela 7 – Dados de demanda por estado hidrológico.

Meses	<b>EH Verde</b> (m <sup>3</sup> /s)	<b>EH Amarelo</b> (m <sup>3</sup> /s)	<b>EH Vermelho</b> (m <sup>3</sup> /s)
1	0,076	0,069	0,066
2	0,076	0,069	0,066
3	0,076	0,069	0,066
4	0,076	0,069	0,066
5	0,076	0,069	0,066
6	0,076	0,069	0,066
7	0,076	0,069	0,066
8	0,076	0,069	0,066
9	0,076	0,069	0,066
10	0,076	0,069	0,066
11	0,076	0,069	0,066
12	0,076	0,069	0,066

Fonte: Autora (2021).

A partir disso, foram feitas interações onde se mudava o valor do volume inicial do reservatório até que se encontrasse o volume que, após os dois períodos de estiagem e um período úmido, o reservatório não apresentasse falha. Após isso, o volume inicial de cada mês foi utilizado para construir as curvas. Mesmo calculadas para todo o período do ciclo de descarga, como foi o caso, as curvas-guia devem retornar ao seu valor inicial no início do período de estiagem do ano subsequente, orientando novas condições de uso em função da situação observada ao final do período úmido.

## 5 RESULTADOS

### 5.1 Aquisição de dados e informações

#### 5.1.1 Aspectos construtivos da barragem

A Barragem Principal é projetada em maciço de terra compactada, homogênea, com sebo trapezoidal, constituída de material sílico-argiloso proveniente de empréstimos, com altura máxima de 29,0 m acima das fundações, com uma extensão pelo coroamento de 311,0 m, na cota 532,0 m (SEINFRA, 2001).

O vertedouro do reservatório está situado numa sela topográfica fora do corpo da barragem na cota de coroamento 528,0 m com 13,20 m de altura máxima, extensão pelo coroamento de 112,0 m e muro guia em ambas as margens com 3 m (SEINFRA, 2001).

A área do reservatório formado pela barragem de Bálamo, ao longo da curva de nível de 528,0 m, corresponde a uma área total de 223,5 ha e volume da ordem de 18.795.643 m<sup>3</sup> (SEINFRA, 2001).

A barragem auxiliar, que fica ao lado do vertedouro principal, tem como objetivo a regularização de uma vazão mínima que permita o abastecimento do perímetro de irrigação assim como, a pressurização de parte do sistema de irrigação por gravidade (SEINFRA, 2001). A ficha técnica da barragem pode ser observada nas tabelas de 8 a 12.

Tabela 8 – Características gerais.

Açude	Bálamo
Localização	Palmeira dos Índios – Alagoas
Riacho	Riacho Bálamo
Sistema Hidrográfico	Rio Paraíba
Capacidade	18.850.010,00 m <sup>3</sup>
Bacia Hidrográfica	58,0 km <sup>2</sup>
Bacia Hidráulica	223,99 ha
Chuva Média Anual	987,9 mm
Orçamento Total	R\$12.118.147,41

Fonte: Autora (2021).

Tabela 9 – Barragem principal.

Tipo	Terra Homogênea
Altura Máxima	29,0 m
Profundidade Máxima	26,0 m
Comprimento pelo Coroamento	288,0 m
Largura do Coroamento	8,0 m

Volume de Terra Total	433.559,00 m <sup>3</sup>
-----------------------	---------------------------

Fonte: Autora (2021).

Tabela 10 – Barragem auxiliar e vertedouro.

Tipo	Alvenaria de Pedra (Perfil Creager)
Altura Máxima	13,20 m
Comprimento pelo Coroamento	122,0 m
Lâmina de Sangria	0,90 m
Descarga Máxima	158,0 m <sup>3</sup> /s

Fonte: Autora (2021).

Tabela 11 – Muro de Proteção.

Tipo	Concreto Ciclópico
Comprimento Total	20,0 m (Ambos os lados)
Altura Máxima	3,0 m

Fonte: Autora (2021).

Tabela 12 – Tomada d'água.

Tipo	Galeria
Diâmetro da Tubulação	700 mm
Comprimento da Tubulação	142,0 m
Descarga Mínima	500,0 L/s

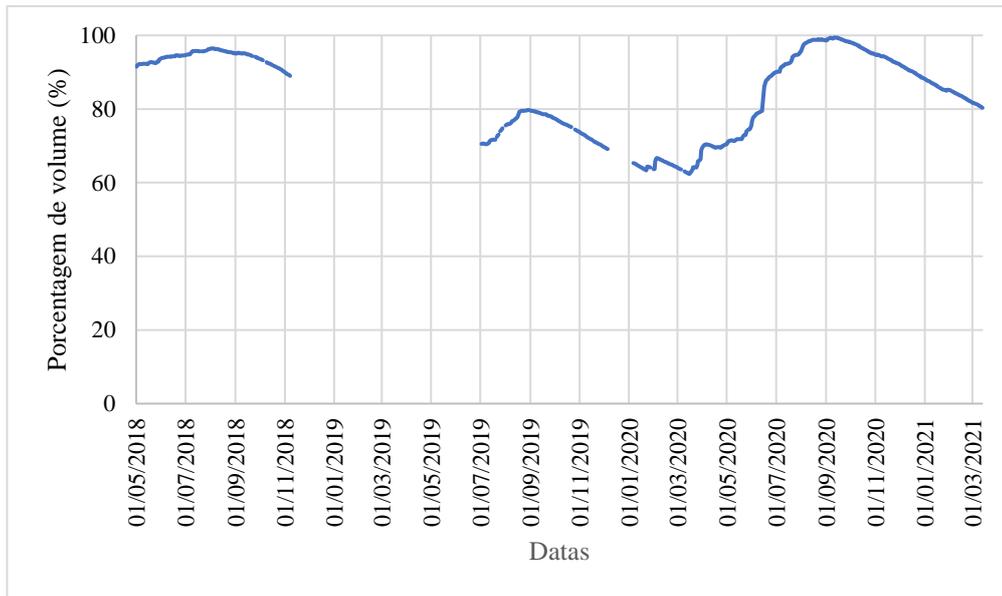
Fonte: Autora (2021).

### 5.1.2 Níveis do reservatório Bálamo

O monitoramento de nível do reservatório Bálamo atualmente é feito por meio de um software instalado em um celular disponibilizado pela ANA para um observador local. O observador tem o dever de ir diariamente ao reservatório munido do celular e digitar o valor da cota presente na régua instalada, valor esse que será enviado diretamente para a ANA. Esse valor de cota é enviado assim que é estabelecido um sinal com a rede de telefonia. Importante salientar também que o único uso possível desse aparelho é para o monitoramento de nível. Os dados estão gratuitamente disponíveis através do HidroWeb.

O monitoramento de nível começou no ano de 2018 e apresenta muitas falhas até o ano de 2019, e dados contínuos de 2020 a 2021, como é possível observar na figura 10. Também é possível perceber que desde o começo do monitoramento não houve vertimento.

Figura 10 – Níveis observados no reservatório.



Fonte: Autora (2021).

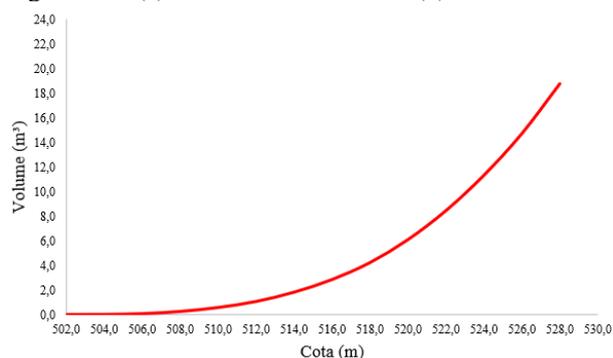
### 5.1.3 Curvas cota-área-volume do reservatório Bálsamo

A bacia hidráulica do reservatório Bálsamo foi estimada com base no levantamento topográfico realizado pelo Serviço de Estudos e Projetos do 3º Distrito de Engenharia Rural do Departamento Nacional de Obras Contra Secas (SEINFRA, 2001). A área total inundada foi estimada em torno de 223,5 ha. O relevo interno da bacia hidráulica apresenta uma linha de fundo com formações de vales em “V” e declividades acentuadas.

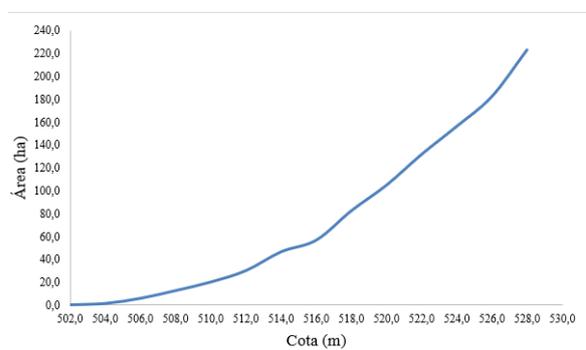
A capacidade de acumulação do reservatório foi calculada com base na cota 528,0 m (nível de soleira do vertedouro) como sendo o nível normal de armazenamento, o que corresponde a uma acumulação de 18,8 hm<sup>3</sup> e uma profundidade de 26,0 m.

Para efeito do Projeto de Irrigação, admitiu-se o nível operacional situado na cota 514,0 m, tomando-se como base o deplecionamento máximo de 14,0 m. O volume útil máximo do reservatório é de 16.968.246 m<sup>3</sup>. Na sequência, apresenta-se as curvas cota-área e cota-volume da bacia hidráulica do reservatório Bálsamo (Figura 11 e Tabela 13).

Figura 11 – (a) curva cota x volume e (b) curva cota x área



(a)



(b)

Fonte: Autora (2021).

Tabela 13 – Informações de Cota, Área e Volume.

<b>Cota (m)</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Volume (m³)</b>
502	0	0,00
504	1,2	0,01
506	5,7	0,07
508	12,5	0,25
510	20	0,57
512	30	1,06
514	46,5	1,82
516	56,7	2,85
518	82,5	4,23
520	104,9	6,10
522	131,9	8,46
524	156,5	11,34
526	182,6	14,73
528	223,5	18,79

Fonte: SEINFRA (2001).

#### 5.1.4 Perímetro de irrigação do Bálsamo

O sistema previsto para o perímetro de irrigação do Bálsamo compreendia a implantação de uma barragem no riacho Bálsamo com vistas à regularização de uma vazão mínima que permitiria o abastecimento do perímetro de irrigação assim como, pressurização de parte do sistema de irrigação por gravidade.

Também fazia parte desse sistema, a implantação de uma estação elevatória flutuante, com captação no lago a ser formado pela barragem do Bálsamo. Essa elevatória nas condições limites, deveria captar na cota 514 m (nível de água mínimo da barragem), e recalcaria através de uma linha de recalque com diâmetro de 500 mm, com as vazões demandadas por parte do sistema (600ha, sendo 100ha de horticultura), totalizando 366 l/s, para um reservatório de passagem de concreto situado a 438 m da captação, na cota 564,60 m, estrategicamente escolhido de modo a permitir a pressurização e, evidentemente, o funcionamento dessa parcela do sistema global (SEINFRA, 2001).

A partir do reservatório, segue-se então uma linha adutora/distribuidora com diâmetro inicial de 600 mm, que se desenvolveria por cerca de 15 km até os arredores de Palmeira dos Índios onde estão localizadas as áreas cultivadas com horticultura. Este sistema adutor, para efeito de projeto, foi denominado sistema adutor/distribuidor de Palmeira dos Índios. Ao longo dessa linha adutora estavam previstas sangrias para abastecer os lotes cultivados com floricultura e ao seu final segue-se o sistema de distribuição para horticultura (SEINFRA, 2001). O perímetro de irrigação ainda não foi implantado.

#### 5.1.5 Postos Pluviométricos

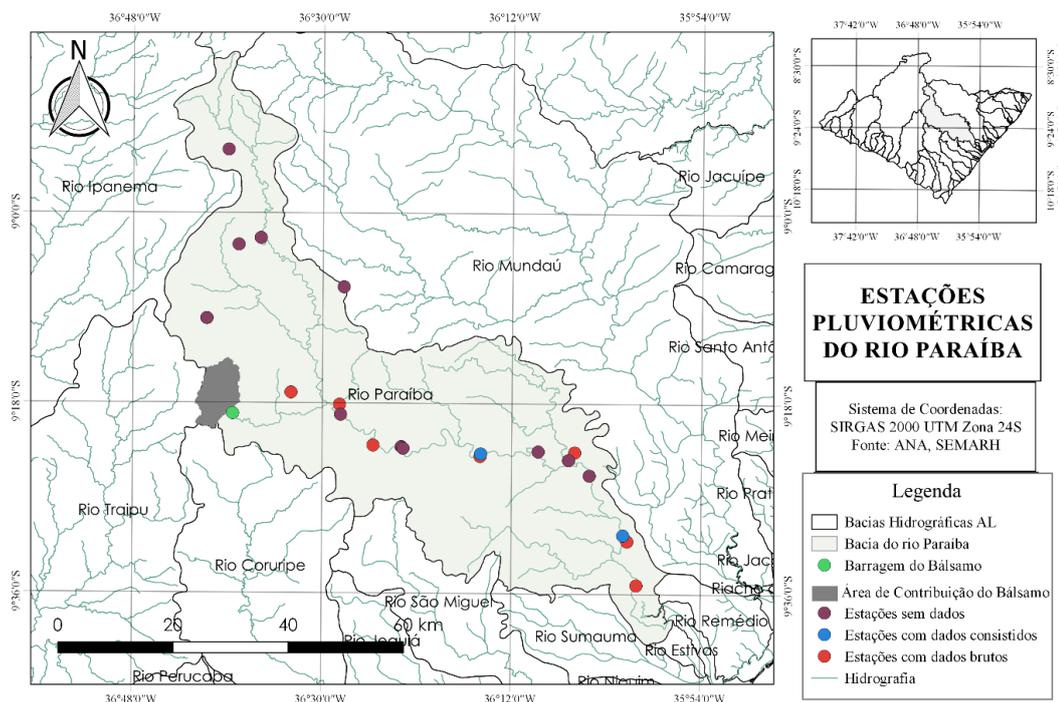
De acordo com o portal HidroWeb, há 21 estações pluviométricas na bacia do rio Paraíba, todas citadas na tabela 14 e localizadas na figura 12, onde apenas dez dessas estações apresentam série histórica na forma de dados brutos e duas estações na forma de dados consistidos. Duas estações apresentam séries históricas nas duas formas possíveis.

Tabela 14 – Estações pluviométricas no rio Paraíba.

<b>Estação</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>Dados Brutos</b>	<b>Dados Consistidos</b>
Lagoa do Ouro	-9,11667	-36,46667	Sem Dados	Sem Dados
Viçosa	-9,38333	-36,25000	01/1913-11/1989	Sem Dados
Viçosa	-9,37917	-36,24917	01/1989-07/2020	01/1989-12/2006
Quebrangulo	-9,30222	-36,47278	12/1912-06/1994	Sem Dados
Bom Conselho	-9,16667	-36,68333	03/1934-05/1985	Sem Dados
Paranatama	-8,90000	-36,65000	Sem Dados	Sem Dados
Bom Conselho	-9,16667	-36,68333	Sem Dados	Sem Dados
Quabrângulo_Quebrangulo01	-9,31806	-36,47111	Sem Dados	Sem Dados
Brejão	-9,03944	-36,59833	Sem Dados	Sem Dados
Capela_Capela01	-9,38889	-36,11000	Sem Dados	Sem Dados
Vila São Francisco	-9,36639	-36,41944	07/2011-07/2020	Sem Dados
Capela_Capela01	-9,41306	-36,07694	Sem Dados	Sem Dados
Cajueiro	-9,37556	-36,15806	Sem Dados	Sem Dados
Capricho	-9,37667	-36,10028	01/1999-12/2003	Sem Dados
Paulo Jacieno	-9,36861	-36,37472	Sem Dados	Sem Dados
Paulo Jacinto_PauloJacinto01	-9,37111	-36,37194	Sem Dados	Sem Dados
Santo Antônio	-9,28333	-36,54972	01/1999-12/2003	Sem Dados
Terezinha	-9,05000	-36,63333	Sem Dados	Sem Dados
T. Nova	-9,58583	-36,00167	01/1999-12/2003	Sem Dados
Atalaia	-9,51667	-36,01667	12/1912-08/1995	Sem Dados
Atalaia	-9,50722	-36,02333	08/1989-07/2020	01/1997-12/2006

Fonte: Autora (2021).

Figura 12 – Estações pluviométricas no rio Paraíba.



Fonte: Autora (2021).

### 5.1.6 Postos Fluviométricos

De acordo com o Hidroweb, há 14 estações fluviométricas na bacia do rio Paraíba, todas citadas na tabela 15 e localizadas na figura 13, onde apenas cinco dessas estações apresentam série histórica na forma de dados brutos e de dados consistidos.

Para obter a série histórica de vazões afluentes à barragem, optou-se por usar os dados da estação de Atalaia (39870000).

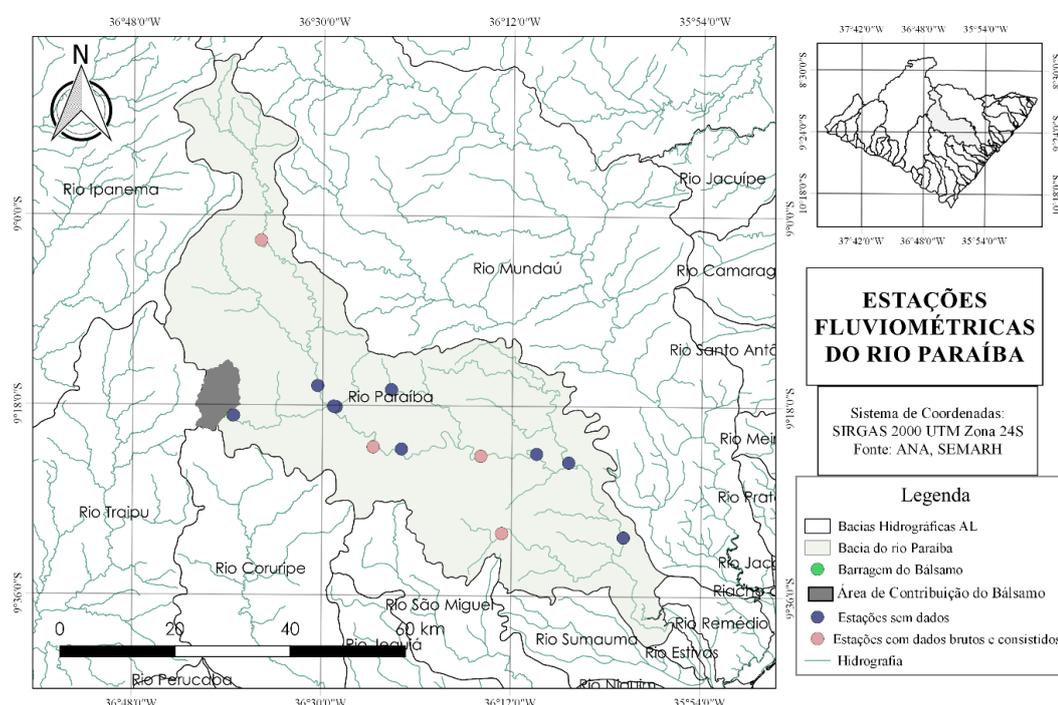
Tabela 15 – Estações fluviométricas no rio Paraíba.

Estação	Latitude	Longitude	Dados Brutos	Dados Consistidos
Atalaia	-9,50667	-36,02278	01/2015-07/2020	10/1977-12/2014
Porangaba	-9,50111	-36,21528	01/2015-06/2020	11/2004-12/2014
Bom Conselho	-9,26917	-36,50778	Sem Dados	Sem Dados
Viçosa	-9,37917	-36,24917	01/2015-07/2020	01/1989-12/2014
Açude Caçamba	-9,27500	-36,39111	Sem Dados	Sem Dados
Açude Carangueja	-9,30250	-36,47833	Sem Dados	Sem Dados
Brejão	-9,03944	-36,59833	01/2015-07/2020	10/2004-12/2014
Capela	-9,38889	-36,11000	Sem Dados	Sem Dados

Estação	Latitude	Longitude	Dados Brutos	Dados Consistidos
Açude Bálamo	-9,31667	-36,64056	Sem Dados	Sem Dados
Vila São Francisco	-9,36556	-36,41944	01/2015-07/2020	06/2011-12/2014
Quebrangulo	-9,30167	-36,48250	Sem Dados	Sem Dados
Cajueiro	-9,37556	-36,16083	Sem Dados	Sem Dados
Paulo Jacinto	-9,36861	-36,37472	Sem Dados	Sem Dados
Atalaia	-9,50667	-36,02278	Sem Dados	Sem Dados

Fonte: Autora (2021).

Figura 13 – Estações fluviométricas no rio Paraíba.



Fonte: Autora (2021).

## 5.2 Construção da série histórica de vazões afluentes à barragem

Para a escolha da estação que foi utilizada para gerar a série de vazão que chega à barragem do Bálamo, a princípio, foram levados em conta os seguintes critérios: tempo de dados consistidos disponíveis, tempo de dados disponíveis sem falhas, localização da estação e a observação de alguma tendência semelhante entre os dados de vazão das estações.

Na figura 14 é possível perceber que as estações de Atalaia (39870000) e Viçosa (39860000) apresentam um maior período de dados em comum. Após isso, os dados de vazão das estações foram organizados e manipulados de forma a identificar em quais anos existiam falhas. Pode-se observar o resultado na figura 15.

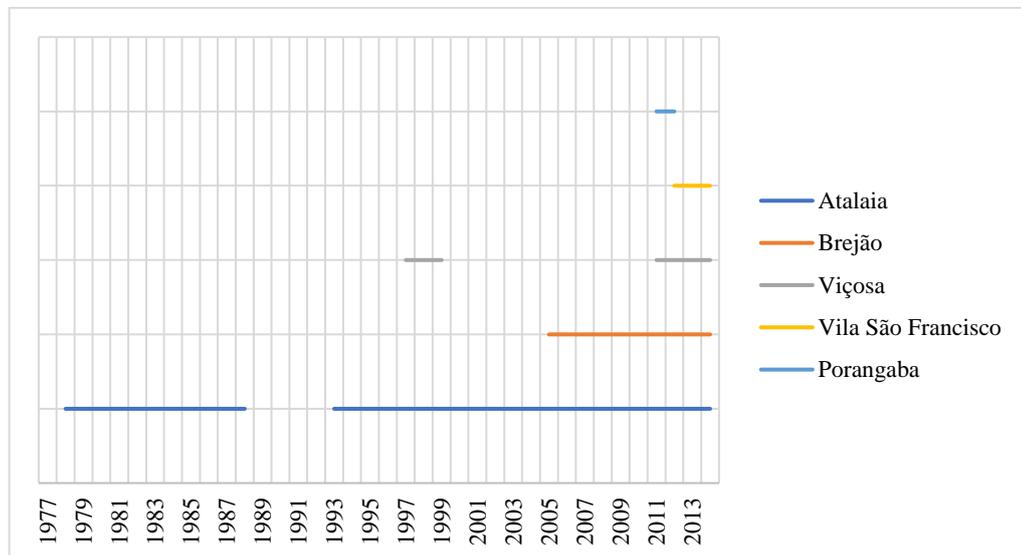
Figura 14 – Período de dados em comum das estações em análise.



Fonte: Autora (2021).

É possível notar que a estação com maior período de dados sem falha é a de Atalaia (39870000), seguida por Brejão (39800000), Viçosa (39860000), Vila São Francisco (39852000) e Porangaba (39880000).

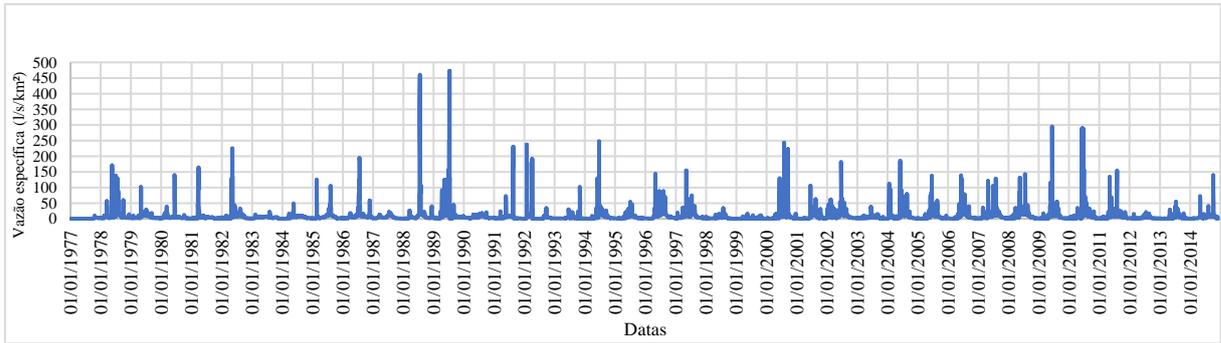
Figura 15 – Período sem falhas das estações em análise.



Fonte: Autora (2021).

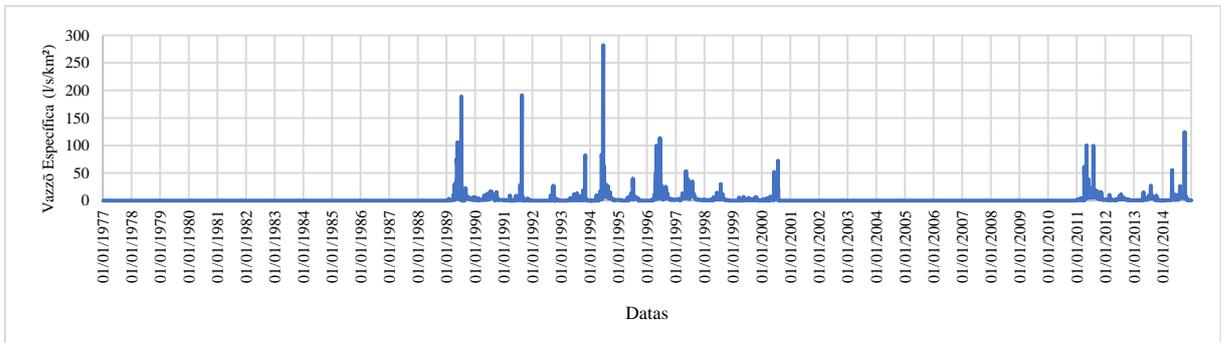
Todos os dados também foram plotados para tentar se observar algum comportamento semelhante entre as vazões medidas nas estações, conforme figuras de 16 a 20.

Figura 16 – Estação de Atalaia (39870000).



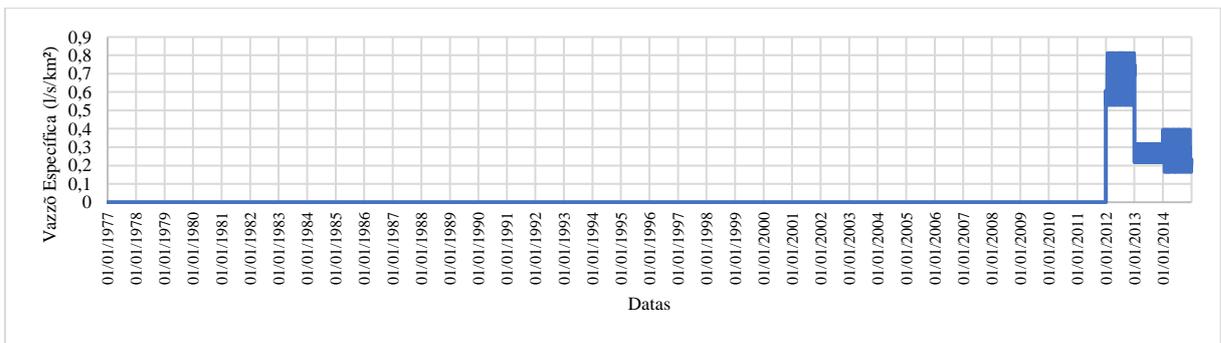
Fonte: Autora (2021).

Figura 17 – Estação de Viçosa (39870000).



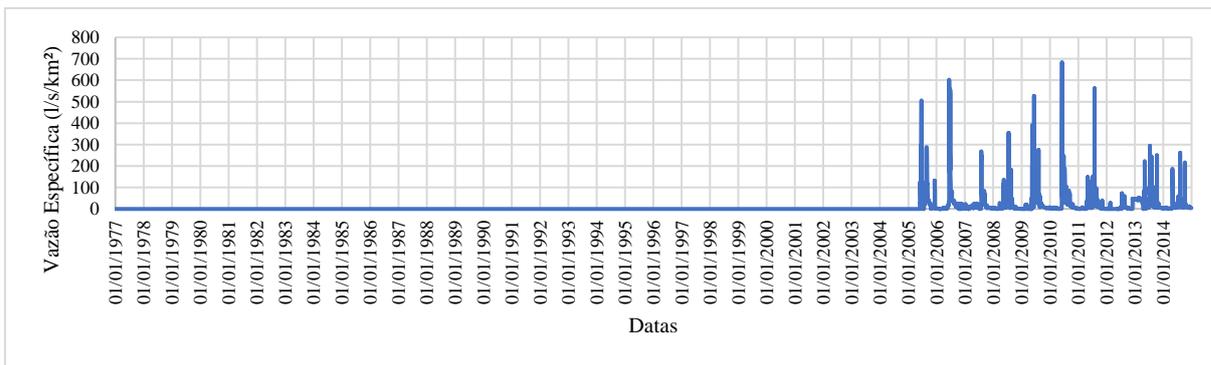
Fonte: Autora (2021).

Figura 18 – Estação de Vila São Francisco (39852000).



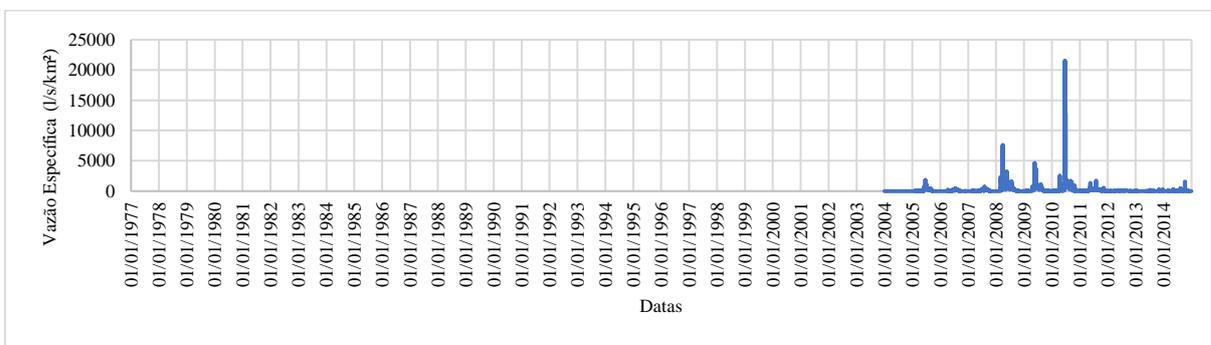
Fonte: Autora (2021).

Figura 19 – Estação de Porangaba (39860000).



Fonte: Autora (2021).

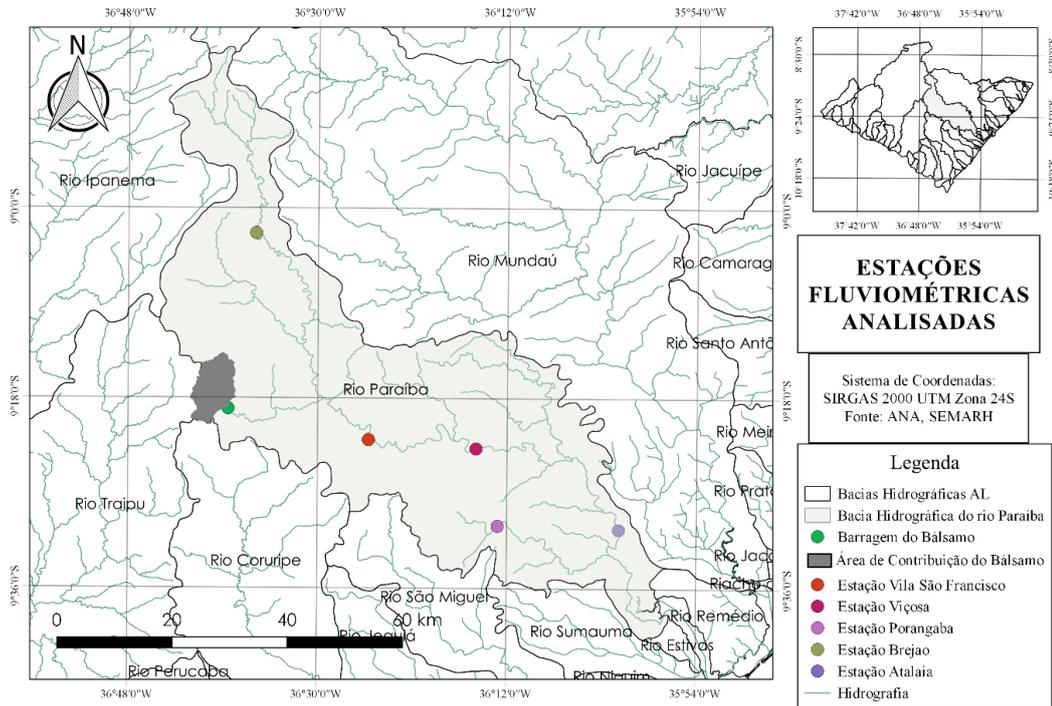
Figura 20 – Estação de Brejão (39800000).



Fonte: Autora (2021).

É notável que as estações que apresentam um certo comportamento semelhante são as de Atalaia (39870000) e Viçosa (39860000), ao contrário das outras que apresentam picos de vazões muito altos. Também foram observadas as localizações das estações em relação a barragem do Bálsamo, presentes na figura 21, pois quanto mais perto da barragem, melhor a representatividade dessa série.

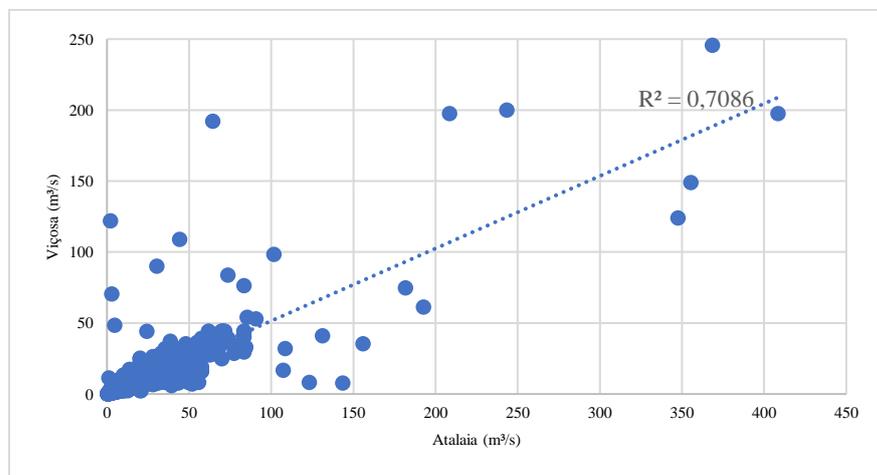
Figura 21 – Estações fluviométricas analisadas.



Fonte: Autora (2021).

Após a análise de todos os critérios acima, as estações de Atalaia (39870000) e Viçosa (39860000) se mostraram propícias para o uso de seus dados. Por esse motivo foi analisado o coeficiente de correlação das duas estações no período em que não existiu falha entre elas, que foi entre 2011 e 2014. Além do cálculo da correlação, observado na figura 22, também foi calculada a Q90 de cada uma para observar se os valores seriam próximos através de suas curvas de permanência.

Figura 22 – Coeficiente de correlação entre Atalaia e Viçosa.

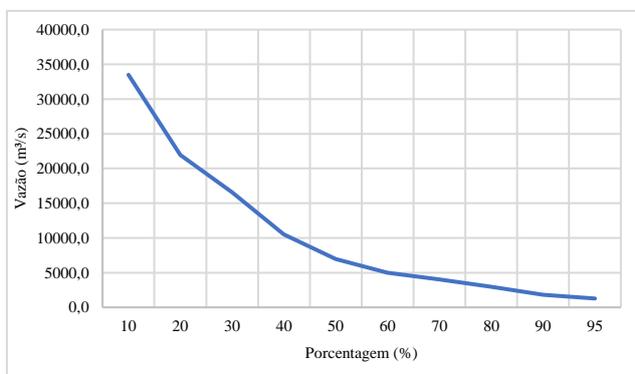


Fonte: Autora (2021).

Obteve-se um coeficiente de determinação de 70,86% e um coeficiente de correlação de 0,84 entre as estações, o que é considerado um valor bom. Mas, ao observar os dados no gráfico, percebe-se que eles estão bastante dispersos, o que não está dentro do esperado.

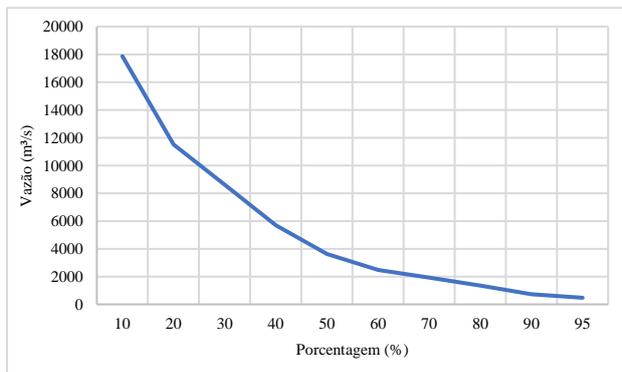
A partir das curvas de permanência, figuras 23 e 24, foi possível chegar aos valores de Q90 da estação de Atalaia (39870000), que ficou próximo de 1.805 l/s, e para Viçosa (39870000) o valor ficou por volta de 738 l/s, ou seja, a Q90 de Atalaia (39870000) é mais que o dobro do valor da vazão encontrada em Viçosa (39870000), com mostrado na tabela 16, o que não se mostrou muito interessante.

Figura 23 – Curva de permanência da estação de Atalaia.



Fonte: Autora (2021).

Figura 24 – Curva de permanência da estação de Viçosa.



Fonte: Autora (2021).

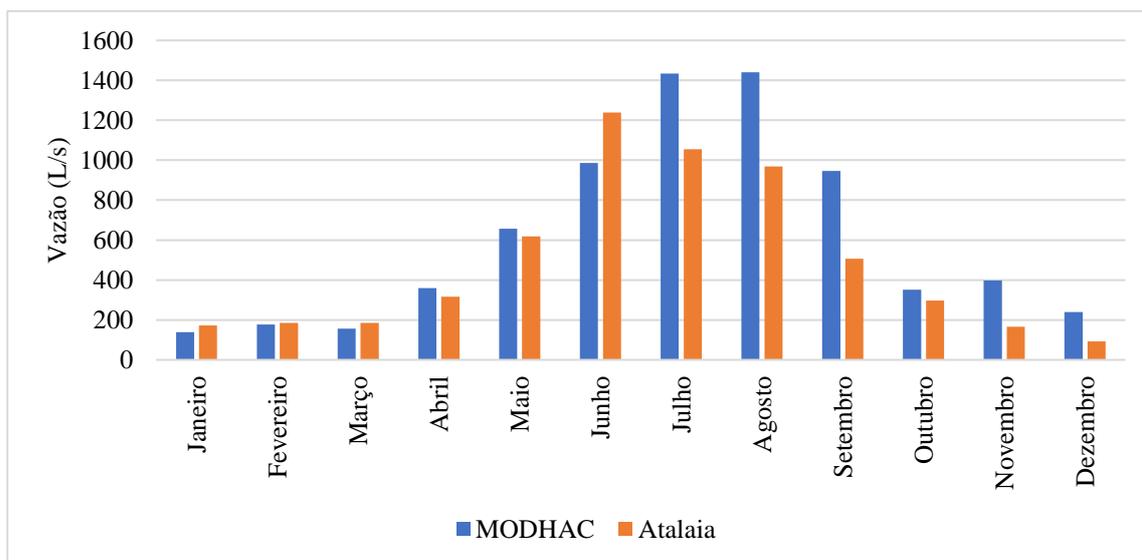
Tabela 16 – Q90 de Atalaia e Viçosa.

	<b>Viçosa</b>	<b>Atalaia</b>
Q50	3.631,0	6.958,0
Q90	738,0	1.805,0
Q95	476,0	1.276,0

Fonte: Autora (2021).

Até o momento, de acordo com as análises feitas, a estação de Atalaia seria a escolhida. Mas optou-se ainda por uma última avaliação, que foi a comparação entre as vazões médias mensais gerada pelo MODHAC com a série histórica de Atalaia (39870000) gerada pela regionalização, bem como a comparação da Q90 de cada uma. É possível ver o resultado na figura 25.

Figura 25 – Vazões médias mensais.

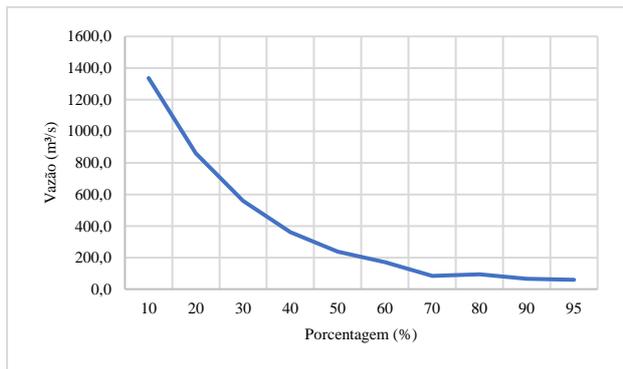


Fonte: Autora (2021).

Aqui é possível ver que a série de Atalaia (3987000), na grande maioria dos meses, é menor que a série gerada pelo MODHAC. No entanto, como se trata de uma série gerada a partir de outra série com um bom período de dados, e ainda considerando que a subestimação pode ser um fator positivo para limitar excessos de demanda, decidiu-se continuar com a série de Atalaia.

A partir das curvas de permanência, figuras 26 e 27, foi possível chegar aos valores de Q90 das vazões regionalizadas da estação de Atalaia (39870000), que ficou próximo de 64,7 l/s, e para as vazões geradas pelo MODHAC o valor ficou por volta de 90 l/s, ou seja, os valores de Q90 estão relativamente próximos. A Tabela 17 compara alguns valores da curva de permanência.

Figura 26 – Curva de permanência estação de Atalaia



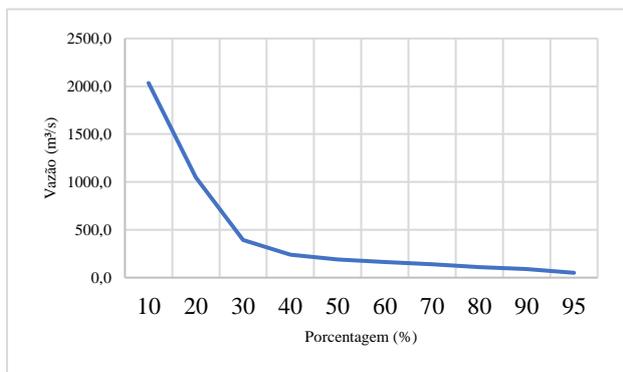
Fonte: Autora (2021).

Tabela 17 – Q90 de Atalaia e MODHAC

	Atalaia	MODHAC
Q50	237,2	190,0
Q90	64,7	90,0
Q95	59,3	50,5

Figura 27 – Curva de permanência da série gerada pelo MODHAC.

Fonte: Autora (2021).



Fonte: Autora (2021).

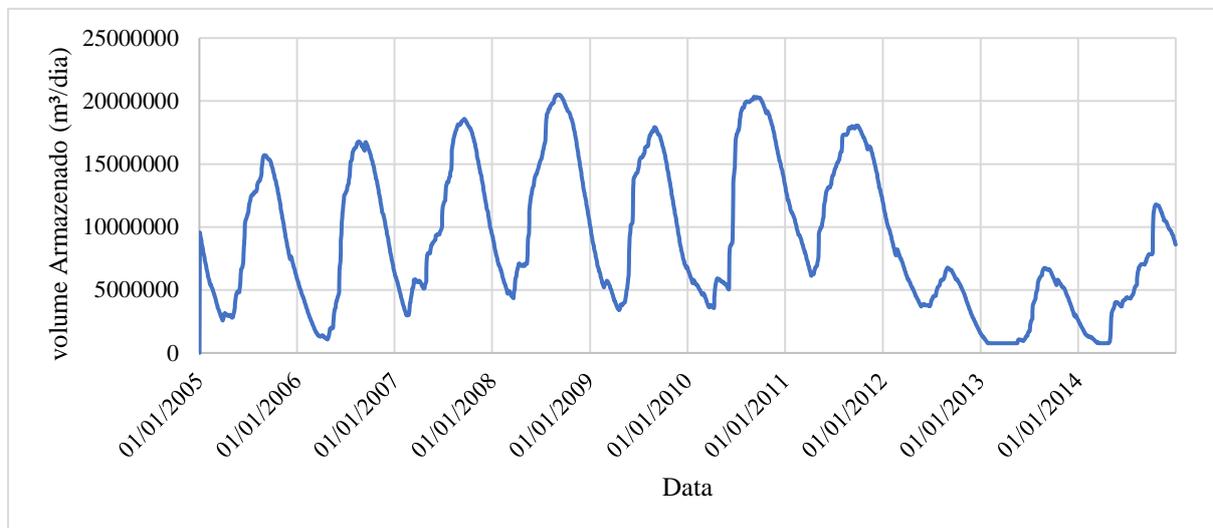
Por todos os motivos expostos, os dados da estação de Atalaia (39870000) foram escolhidos para a continuidade do trabalho. Foi realizada uma regionalização por vazão específica. Toda a série de Atalaia (39870000) foi dividida pelo valor da área de drenagem da estação fluviométrica. Esse resultado foi transformado na vazão de entrada do reservatório, o que era o objetivo, a partir de sua multiplicação pela área de drenagem da barragem.

### 5.3 Simulação do balanço hídrico no reservatório

O cenário 1 representa a situação atual da barragem, com todas as demandas de acordo como está no termo de alocação. Como a perenização a jusante no termo representa a descarga de fundo, seu valor será de 100 l/s. Foi observado que esse valor de descarga de fundo está muito acima do que é o mínimo aconselhado pela SEMARH para rios perenes, que é 10% na Q90, e para rios intermitentes de 10% da Q95. O rio em que a barragem está situada é um rio perene. Esse valor tão acima do mínimo que é recomendado faz com que o reservatório apresente uma porcentagem de falha de aproximadamente 37%, ou seja, o reservatório não é

capaz de atender todas as demandas e ainda regularizar 100 l/s. Na figura 28 pode ser observado como o volume do reservatório se comportou.

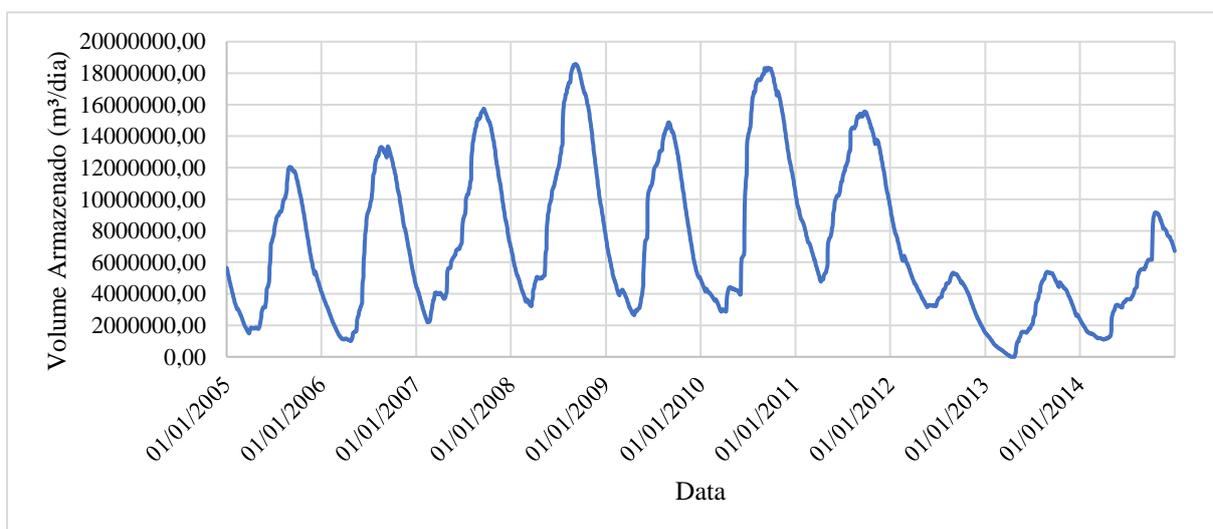
Figura 28 – Volumes observados para o cenário 1.



Fonte: Autora (2021).

No cenário 2 também são consideradas todas as demandas de acordo com o termo de alocação, com exceção do valor da descarga de fundo que será usado de acordo com a recomendação da SEMARH. Para a série de Atalaia, 10% da Q90 equivale a 6,47 l/s. Nessa nova simulação, o reservatório apresentou uma falha de aproximadamente 18,8%. Comparando com a porcentagem de falha do cenário 1, houve uma redução de quase 50%, o que confirma como a descarga de fundo anterior era extremamente alta. Esse cenário também será considerado como o estado hidrológico verde (normal). Na figura 29 pode ser observado como o volume do reservatório se comportou.

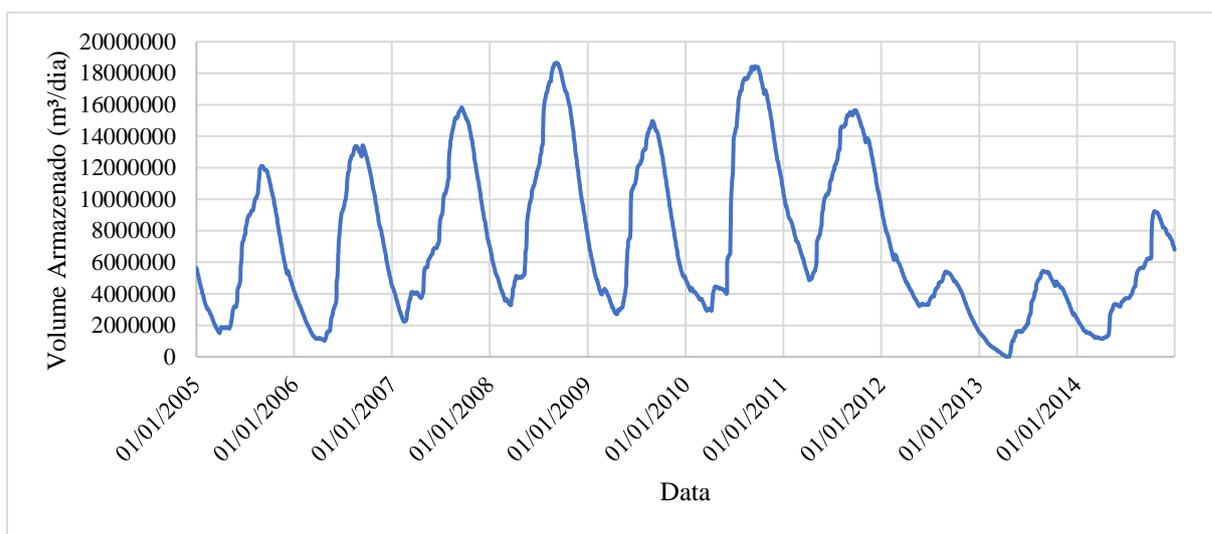
Figura 29 – Volumes observados para o cenário 2.



Fonte: Autora (2021).

O cenário 3 simula o estado hidrológico amarelo (prioritário), nesse caso, são consideradas 100% de todas as demandas prioritárias, 50 % das não prioritárias e 10% da Q90 como descarga de fundo. Houve ainda uma falha significativa de aproximadamente 18,1%. Na figura 30 pode ser observado como o volume do reservatório se comportou.

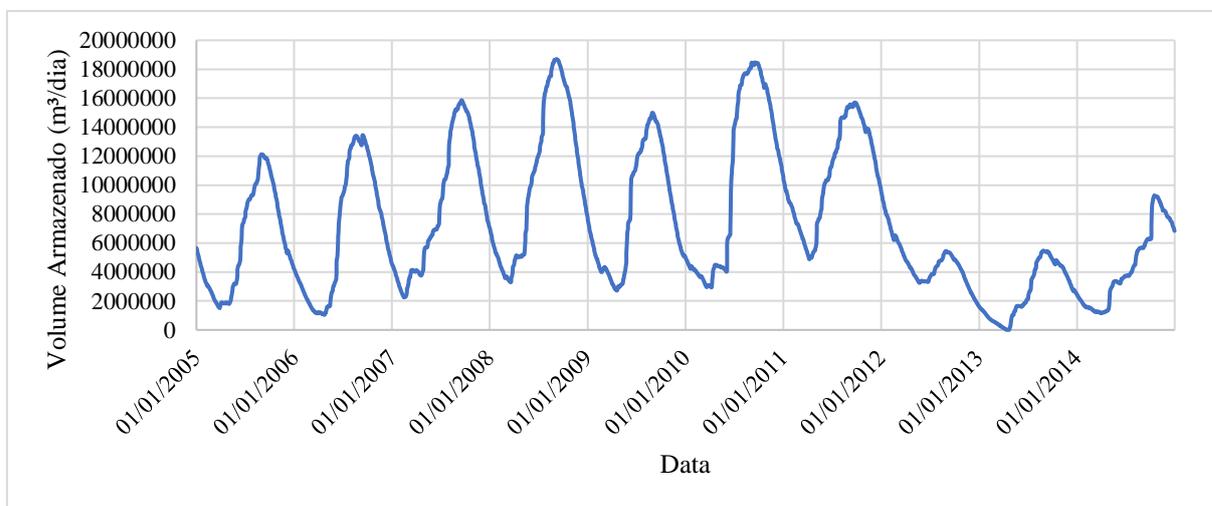
Figura 30 – Volumes observados para o cenário 3.



Fonte: Autora (2021).

O cenário 4 simula o estado hidrológico vermelho (alerta), nesse caso, são consideradas 100% de todas as demandas prioritárias, 25 % das não prioritárias e 10% da Q90 como descarga de fundo. Mesmo com as demandas sendo minimizadas ao máximo, o reservatório apresentou aproximadamente 17,8% de falha. Na figura 31 pode ser observado como o volume do reservatório se comportou.

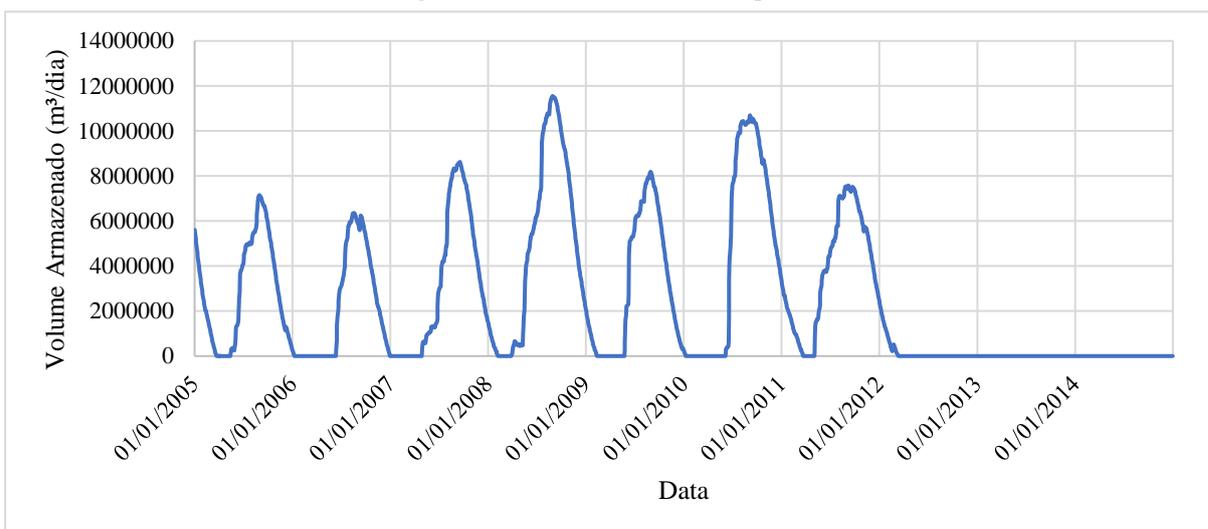
Figura 31 – Volumes observados para o cenário 4.



Fonte: Autora (2021).

O cenário 5 simula a instalação do perímetro de irrigação, juntamente com 100% das demandas e considerando 10% da Q90. Nesse caso, houve uma falha bastante significativa de aproximadamente 66,2%. Mesmo mantendo a descarga de fundo como a mínima recomendada, a entrada da nova demanda do perímetro de irrigação sobrecarregou demais o reservatório. Isso revela que sua implantação não é viável atualmente, pois na situação atual o reservatório já apresenta uma falha maior que a ideal, que seria de 10%. Na figura 32 pode ser observado como o volume do reservatório se comportou.

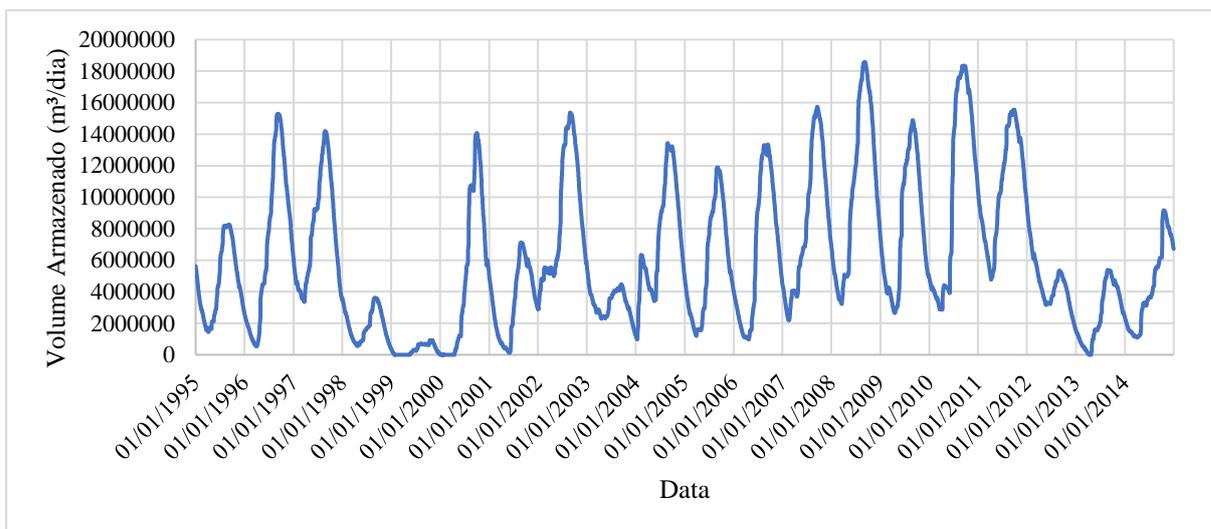
Figura 32 – Volumes observados para o cenário 5.



Fonte: Autora (2021).

Ainda houve a simulação para o cenário 6, onde é considerada a existência da barragem desde o início da série de dados obtida, que foi de 1995 a 2014. Esse cenário foi simulado com 100% de todas as demandas e 10% da Q90 como descarga de fundo. Uma falha de aproximadamente 38,6% aconteceu. Na figura 33 pode ser observado como o volume do reservatório se comportou

Figura 33 – Volumes observados para o cenário 6.



Fonte: Autora (2021).

A tabela 18 mostra uma síntese dos desempenhos do reservatório nos cenários. Para todas as situações, a porcentagem de falha é alta. Para a simulação com o período entre 2005 e 2014, destacam-se o efeito da perenização de 100 l/s e da entrada em operação do perímetro de irrigação.

Tabela 18 - Porcentagem de falha em cada cenário.

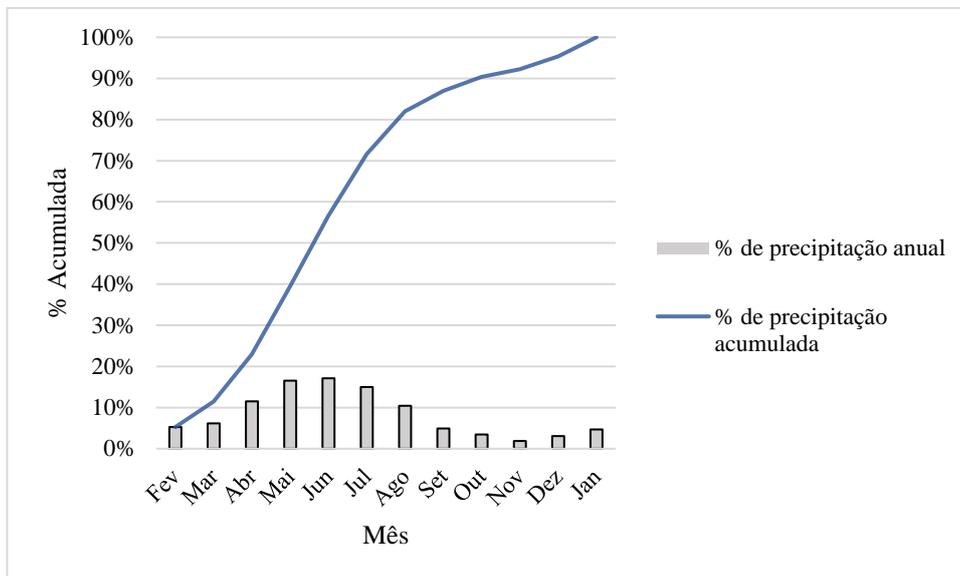
<b>Cenário</b>	<b>% de falha</b>
1	37,0
2	18,8
3	18,1
4	17,8
5	66,2
6	38,6

Fonte: Autora (2021)

Interessante também observar que, em se tratando de simulação/verificação do comportamento do reservatório, o uso de uma série maior altera o desempenho, neste caso praticamente dobrando a porcentagem de falha.

Independente dos cenários propostos, foi possível ver que os volumes armazenados atingem seu pico no período chuvoso e que vão decrescendo à medida que se entra no período de estiagem, o que é o normal e esperado de acontecer. Na figura 34 é possível observar o ciclo hidrológico anual, onde foram usados os dados de precipitação e evaporação da estação do INMET no período de 1995 a 2014. O período chuvoso é composto pelos meses de março a agosto e o período de estiagem de setembro a fevereiro.

Figura 34 – Ciclo hidrológico anual.



Fonte: Autora (2021).

#### 5.4 Curvas-guia

Foram elaboradas as curvas-guia para o cenário proposto com todas as demandas presentes no termo de alocação e com descarga de fundo igual a 10% da Q90, pois o comportamento dos cenários 2, 3 e 4 foram semelhantes, no que tange à porcentagem de falhas, e a entrada em operação do perímetro de irrigação praticamente inviabiliza a barragem para este fim, conforme mostrou a simulação do cenário 5.

A partir da simulação no HEC-HMS foi possível obter os volumes, para os três estados hidrológicos, que após os dois períodos de estiagem e um período úmido o reservatório não apresentasse falha. Esses volumes, e suas respectivas cotas, estão apresentados na tabela 19.

Tabela 19 – Volumes para os estados hidrológicos.

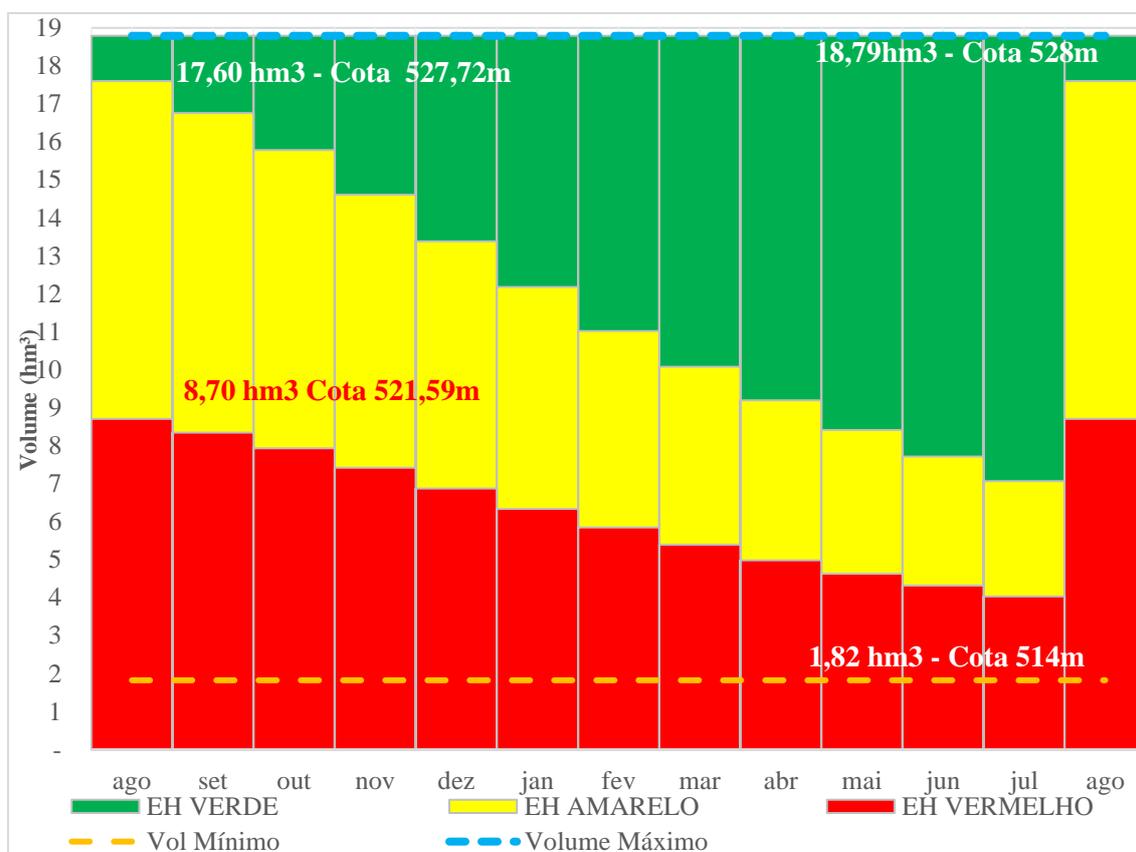
Ano	Meses	Estado Hidrológico Verde		Estado Hidrológico Amarelo		Estado Hidrológico Vermelho	
		Vol (hm <sup>3</sup> )	Cota (m)	Vol (hm <sup>3</sup> )	Cota (m)	Vol (hm <sup>3</sup> )	Cota (m)
2021	Ago	17,60	527,40	11,70	524,21	8,70	522,16
	Set	16,76	526,99	11,18	523,87	8,34	521,88
	Out	15,78	526,51	10,58	523,46	7,93	521,53
	Nov	14,61	525,91	9,84	522,95	7,42	521,11
	Dez	13,38	525,19	9,06	522,41	6,87	520,65
2022	Jan	12,17	524,48	8,29	521,84	6,33	520,19

<b>Fev</b>	11,01	523,76	7,56	521,22	5,85	519,72
<b>Mar</b>	10,08	523,11	6,96	520,72	5,39	519,23
<b>Abr</b>	9,19	522,50	6,38	520,23	4,98	518,79
<b>Mai</b>	8,41	521,94	5,89	519,76	4,62	518,41
<b>Jun</b>	7,71	521,36	5,45	519,29	4,31	518,08
<b>Jul</b>	7,06	520,81	5,04	518,86	4,03	517,70
<b>ago</b>	17,60	527,40	11,70	524,21	8,70	522,16
<b>set</b>	16,76	526,99	11,18	523,87	8,34	521,88
<b>out</b>	15,78	526,51	10,58	523,46	7,93	521,53
<b>nov</b>	14,61	525,91	9,84	522,95	7,42	521,11
<b>dez</b>	13,38	525,19	9,06	522,41	6,87	520,65

Fonte: Autora (2021).

É possível ver que para atender ao estado hidrológico verde, o volume do reservatório tem que estar entre 17,60 hm<sup>3</sup> e 13,38 hm<sup>3</sup>. Para o estado hidrológico amarelo, o volume tem que estar entre 11,70 hm<sup>3</sup> a 9,06 hm<sup>3</sup>. Finalmente, para o estado hidrológico vermelho, o volume tem que estar entre 8,70hm<sup>3</sup> a 6,87 hm<sup>3</sup>. As curvas-guia geradas podem ser vistas na figura 35.

Figura 35 – Curvas-guia para o reservatório Bálsamo



Fonte: Autora (2021).

## 6 CONCLUSÃO

Este trabalho apresenta o cenário atual de demanda hídrica no reservatório, bem como propõe novos cenários de demanda condizentes com a realidade atual do reservatório. Também apresenta um modelo de balanço hídrico, de maneira a oportunizar a elaboração de estudos via simulação dos cenários, auxiliando a tomada de decisões quanto ao uso da água, bem como as curvas-guia representativas para um dos cenários propostos, com cada um dos estados hidrológicos (normal, alerta, prioritários).

Os dados necessários foram obtidos e aplicados no estudo através de diversas fontes, como o próprio termo de alocação, de onde se retirou as atuais demandas utilizadas e o estudo de viabilidade preliminar técnico-sócio-econômico da barragem, onde se encontrou a demanda do perímetro de irrigação, as curvas cota-área-volume e tantas outras informações.

Uma etapa muito importante no balanço hídrico foi a determinação dos volumes do reservatório da barragem do Bálsamo, visto que só há monitoramento de nível no local a partir de 2018, e mesmo assim com bastante falhas. Além disso houve a necessidade de determinar a série de vazões afluentes (método de regionalização por vazão específica).

Os resultados mostraram que para o cenário 1, que representa a atual situação do reservatório, há uma falha de aproximadamente 37%. Isso é causado pela elevada vazão alocada de 100 l/s para a descarga de fundo. Com essa percepção, foi proposto o cenário 2, para analisar o comportamento do reservatório quando essa vazão de descarga de fundo é reduzida para 10% da Q90, que equivale a uma vazão de 6,47 l/s. Foi observado que a porcentagem de falha foi reduzida para 18,8%. O cenário 2 seria a melhor situação para o reservatório, mesmo apresentando uma falha maior que a ideal, que seria de 10%. Isso levou ao próximo passo, que foi a decisão de usar o cenário 2 como o estado hidrológico verde, o cenário 3 (com falha de 18,1%) como o estado hidrológico amarelo e o cenário 4 (com falha de 17,8) como o estado hidrológico vermelho. Esses cenários foram usados para a construção das curvas-guia do reservatório.

Mesmo percebendo que o reservatório já não teria condições de abastecer as demandas atuais, o cenário 5 foi proposto com o intuito de avaliar o quanto a falha do reservatório iria crescer se a demanda do perímetro de irrigação fosse implantada, mantendo os 10% da Q90 como descarga de fundo. Como esperado, essa falha evoluiu para 66,2%, se mostrando o pior cenário possível e reafirmando como o reservatório não teria condições de se manter com o acréscimo dessa demanda.

O cenário 6 foi proposto apenas para avaliar como seria o comportamento do reservatório se sua instalação se desse desde o começo da série de dados obtida, que foi de 1995 a 2014. As demandas foram as mesmas do termo de alocação com a descarga de fundo igual a 10% da Q90. A falha foi de 38,6%.

Dentre alguns pontos a serem citados seria que para todas as situações, a porcentagem de falha é alta e que o uso de uma série maior altera o desempenho, neste caso praticamente dobrando a porcentagem de falha. O comportamento do reservatório acompanha o ciclo hidrológico, como esperado, onde seus maiores volumes se apresentam no período chuvoso, conseqüentemente, seus menores volumes são no período de estiagem. Por curiosidade, também foi feita outra simulação para verificar se havia alguma possibilidade de redução das demandas alocadas para o reservatório chegar em uma porcentagem de falha ideal, que seria de 10%. Mesmo retirando todas as demandas e deixando apenas a descarga de fundo mínima recomendada, a falha mínima obtida foi de 14%. Isso significa que o reservatório precisa de um aumento de volume para suportar todas as demandas atuais.

As curvas-guias obtidas representam o volume necessário para o reservatório abastecer as demandas por um ciclo de descarga sem que haja algum tipo de falha. O período proposto foi para o ano de 2021 e 2022, com o intuito de dar subsídio para o novo termo de alocação.

Nesse contexto, fica a recomendação de novos estudos na barragem afim de verificar a possibilidade de aumento de armazenamento de água para a garantia de abastecimentos de todas as demandas alocadas. Um dos estudos importantes para essa verificação seria a elaboração de novas curvas cota-área-volume, já que a ANA recomenda que novas curvas sejam elaboradas quando o reservatório completa 20 anos de operação, o que está bem próximo.

Por fim, é possível concluir que o reservatório da barragem do Bálsamo é de grande importância para o abastecimento humano, pois fornece água para vários municípios de Alagoas e Pernambuco atender suas demandas, mas o seu uso deve ser de forma sustentável e novos estudos devem ser feitos para que se consiga mantê-lo ativo por muito tempo.

## 7 REFERÊNCIAS

- ABREU, Ina Maria de. **Alocação negociada de água no Ceará - Brasil: Proposta metodológica para a tomada de decisão em cenário de escassez**. 2015. 132 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza - CE, 2015.
- ALAGOAS. 1997. **Plano diretor de recursos hídricos das bacias dos rios Paraíba, Sumaúma e Remédios**. Documento.
- AMORIM, J. L. R. **Livro das barragens**. SEDUR: Embasa – Empresa Baiana de Águas e Saneamento S.A. Salvador, Bahia, 2006, 94 p.
- ANA – Agência Nacional de Águas. **Conjuntura nacional de recursos hídricos**. Agência Nacional de Águas (ANA). Brasília, DF, 2019.
- ANA – Agência Nacional de Águas. **Metodologia para alocação de água em açudes isolados – meta institucional da superintendência de regulação - 01/10/2014 e 30/09/2015**. 2015. Disponível em: <[https://arquivos.ana.gov.br/institucional/sof/acudessemiarido/NT\\_10\\_2015\\_Doc.pdf](https://arquivos.ana.gov.br/institucional/sof/acudessemiarido/NT_10_2015_Doc.pdf)>. Acesso em: 14 jan. 2021.
- ANA – Agência Nacional de Águas. **Plano nacional de segurança hídrica**. Agência Nacional de Águas (ANA). Brasília, DF, 2019.
- ANA – Agência Nacional de Águas. **Termo de alocação 2020/2021 do sistema hídrico Balsamo (AL/PE)**. Agência Nacional de Águas (ANA). Brasília, DF, 2020.
- ANDREIS, C.; **Estudo da dinâmica hídrica de um reservatório afetado pela construção de um segundo reservatório a montante**. Santa Maria, Rio Grande do Sul: PPGA, 2004.
- BAPTISTA, M. B.; **Fundamentos de engenharia hidráulica**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010. 473 pag.
- BICUDO, C.E.de M.; TUNDISI, J.G.; SCHEUENSTUHL, M.C.B. ,orgs. **Águas do Brasil: análises estratégicas**. São Paulo, Instituto de Botânica, 2010. 224 p.
- BRASIL. Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. **Diário Oficial da União**. 9 de jan. 1997. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9433.htm)>. Acesso em: 23 nov. 2020.

BRAVO, Juan Martín; COLLISCHONN, Walter; TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Otimização de regras de operação de reservatórios com incorporação da previsão de vazão.** 2008. Disponível em: < <http://rhama.com.br/blog/wp-content/uploads/2017/04/omtimizacaoabr08.pdf>>. Acesso em: 14 ago. 2021.

CAMPOS, N.; STUDART, T. **Gestão de águas: princípios e práticas.** Fortaleza, 2003.

COSTA, M. E. L. **Monitoramento e modelagem de águas de drenagem urbana na bacia do Lago Paranoá.** 2013. 146 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Departamento de engenharia ambiental e civil da Universidade de Brasília. Brasília, 2013.

CRUZ, J. C. **Disponibilidade hídrica para outorga: avaliação de aspectos técnicos e conceituais.** Tese de Doutorado. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2001.

ELETROBRÁS. Centrais Elétricas Brasileiras S.A. **Diretrizes para estudos e projetos de pequenas centrais hidrelétricas.** Ministério das Minas e Energia. Diretoria de Engenharia. São Paulo, 2000.

GOMES, Jésus de Lisboa; BARBIERI, José Carlos. **Gerenciamento de recursos hídricos no Brasil e no Estado de São Paulo: um novo modelo de política pública.** Cad. EBAPE.BR, Rio de Janeiro, v. 2, n. 3, p. 01-21, Dez, 2004.

KROL, M. S.; Department of Water Engineering and Management, Water Resour Manage University of Twente. Water Resour Manage, 2011.

MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. **Indicadores ambientais e recursos hídricos: realidade e perspectivas para o Brasil a partir da experiência Francesa.** -Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

MOLLE. F.; CADIER, E. **Manual do pequeno açude: Construir, conservar e aproveitar pequenos açudes no Nordeste brasileiro.** Recife: SUDENE, 1992. 523 p.

MOREIRA, M. C. SILVA, Demetrius David da. PRUSKI, Fernando Falco. LARA, Marcelo dos Santos. **Índices para identificação de conflitos pelo uso da água: Proposição metodológica e estudo de caso.** Artigo. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. v.7.n.3.Jul/set,2012. Porto Alegre: RBRH, 2012.

MUSZKAT, M. E. **Guia prático de mediação de conflitos familiares e organizações**. São Paulo Summus, 2005.

OLIVEIRA, Luiz F. C de; FIOREZE, Ana P. **Estimativas de vazões mínimas mediante dados pluviométricos na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Bárbara, Goiás**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.15, n.1, p.9–15, 2011. Campina Grande. Disponível em: <<http://www.agriambi.com.br>>. Acesso em: 28 jun. 2021.

OLIVEIRA, Maria de Jesus Lopes de; LUNA, Renata Mendes. **O papel da alocação negociada de água na solução de conflitos em recursos hídricos: o caso do conflito pelo uso da água do açude Santo Antônio de Aracatiçu - CE**. XX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2013, Bento Gonçalves - RS. Disponível em: <<https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=3&ID=155&SUMARIO=3984>>. Acesso em: 28 jun. 2021.

OLIVEIRA, T. P. **Análise jurídica dos conflitos de uso da água na realidade brasileira: o caso da bacia hidrográfica do rio São Francisco**, 2007. Disponível em: <<https://revistas.unifacs.br/index.php/redu/article/view/1520>>. Acesso em: 28 jun. 2021.

ONU. **Água**. 2019. Disponível em: <<https://unric.org/pt/agua/>>. Acesso em: 26 jun. 2021.

PEREIRA, E. M. **Análise de conflitos pelo uso da água relacionados a oferta e a demanda: Bacia do rio Piracicaba – MG**. Belo Horizonte: UFMG, 2012.

PIERRE, L. F. **Avaliação da segurança de pequenas barragens em operação**. Salvador: Comitê Brasileiro De Barragens. XXV Seminário Nacional De Grandes Barragens, 2003.

PORTO, M. F. A.; LOBATO, F. **Mechanisms of Water Management: Command & Control and social Mechanisms**. Revista de Gestion Del'agua de America Latina, v.2, p.113-29, 2004.

PORTO, M. F. A; PORTO, R. L. L. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos avançados**. v. 22, n. 63, p. 43 – 60, 2008.

SALES, L. M. de M. **Mediare: Um guia prático para mediadores**. Fortaleza: Universidade de Fortaleza, 2. ed. 120, p. 2004.

SEINFRA – Secretaria de Estado da Infraestrutura de Alagoas (2001). **Estudo de Alternativas do projeto da Barragem de Balsamo**. Maceió. SERVEAL.

SILVA, A. M. **Gestão de conflitos pelo uso da água em bacias hidrográficas urbanas**. 2003. 151 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal do Pará, Belém, 2003.

SOARES NETO, Percy; PEDROSA, Valmir. **Construindo a segurança hídrica**. Vitória - Es: Gsa Gráfica e Editora, 2018. 237 p

SUDENE – Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste. **Plano regional de desenvolvimento do nordeste**. 2018. Disponível em: <<https://www.gov.br/sudene/pt-br/centrais-de-conteudo/pr-consolidado-seghidrica-pdf-pdf>>. Acesso em: 21 nov. 2020.

TUCCI, C. E. M. **Regionalização de vazões**. Porto Alegre: UFRGS, 2002. 256p.

UNITED STATES ATMY CORPS OF ENGINEERS. **HEC-HMS: User's Manual, version 3.5**. Hyrologic Engineering Center, 2010, 318 p