



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA
MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO E REGULAÇÃO DE RECURSOS
HÍDRICOS

**ABORDAGEM HIDROECONÔMICA COMO SUBSÍDIO À TOMADA
DE DECISÃO NA ALOCAÇÃO DE ÁGUA EM RESERVATÓRIO DO
SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

EMANOELLA RODRIGUES RIBEIRO DE OLIVEIRA

SALVADOR – 2020



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA
MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO E REGULAÇÃO DE RECURSOS
HÍDRICOS

**ABORDAGEM HIDROECONÔMICA COMO SUBSÍDIO À TOMADA
DE DECISÃO NA ALOCAÇÃO DE ÁGUA EM RESERVATÓRIO DO
SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

EMANOELLA RODRIGUES RIBEIRO DE OLIVEIRA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – ProfÁgua, por meio da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.

Orientadora: Andrea Sousa Fontes

Coorientador: Paulo Serrano G. S. de Andrade

SALVADOR – 2020

O48 Oliveira, Emanoella Rodrigues Ribeiro de.
Abordagem hidroeconômica como subsídio à tomada de decisão
na alocação de água em reservatório do semiárido brasileiro /
Emanoella Rodrigues Ribeiro de Oliveira. – Salvador, 2020.
175 f.: il. color.

Orientadora: Profa. Dra. Andrea Sousa Fontes.
Coorientador: Prof. Dr. Paulo Romero Guimarães Serrano de
Andrade.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal da Bahia. Escola
Politécnica, 2020.

1. Recursos hídricos. 2. Água - reservatórios. 3. Água – alocação.
I. Fontes, Andrea Sousa. II. Andrade, Paulo Romero Guimarães
Serrano de. III. Universidade Federal da Bahia. IV. Título.

CDD: 551.49



Emanoella Rodrigues Ribeiro de Oliveira

Abordagem Hidroeconômica como subsídio à tomada de decisão na alocação de Água em Reservatório do Semiárido Brasileiro.

Banca Examinadora:

Profa. Dra. Andrea Sousa Fontes
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof. Dr. Paulo Romero G. Serrano de Andrade
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof. Dr. Raymundo José Santos Garrido
Universidade Federal da Bahia

Prof. Dr. Carlos de Oliveira Galvão
Universidade Federal de Campina Grande

Salvador,
10 de dezembro de 2020

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus, pois toda a força e sabedoria para realizar essa pesquisa vem Dele. Em muitos momentos de fraqueza, a fé me permitiu seguir em frente.

À minha família, em especial, meus pais, Kárcia Magaly e Joaquim Elion, minha irmã, Pâmella Rodrigues, e meus avós, Maura e Oldegar, que sempre torceram pelo meu sucesso e me auxiliaram na caminhada até aqui. E ainda à minha sobrinha Anna Liz, pelos momentos de alegria que me proporcionou. Obrigada por entenderem a minha ausência.

À minha orientadora, Andrea Sousa Fontes, que é uma inspiração para mim como pessoa, professora e pesquisadora. Obrigada por todo o conhecimento e todas as ideias compartilhadas. Mas acima de tudo, obrigada por acreditar em mim e nessa pesquisa, por me incentivar e por nunca me deixar desistir.

Ao meu coorientador, Paulo Romero G. Serrano de Andrade, que me fez despertar o interesse pela modelagem e me abriu as portas para os estudos em reservatórios. Meus agradecimentos por todo o saber compartilhado.

À coordenadora do ProfÁgua/UFBA, Yvonilde Dantas P. Medeiros. Obrigada pela dedicação ao programa, pelo acompanhamento da pesquisa durante o “isolamento social” e todas as ideias que compartilhou conosco. Seu incentivo foi muito importante.

Ao professor Raymundo José Garrido, todo o conhecimento sobre a economia de recursos hídricos enriqueceu grandemente esse trabalho. Sou muito grata pelo tempo e dedicação disponibilizados para melhorias do trabalho e para me fazer compreender melhor a economia.

Aos pesquisadores da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, o professor Arisvaldo Vieira Mello Júnior, e em especial, William Dantas Vichete, que teve papel fundamental no andamento dessa pesquisa, o meu muito obrigada por todas as conversas e orientações compartilhadas.

Ao professor, Carlos Galvão, pelas grandes contribuições realizadas na etapa de qualificação, obrigada pelos grandes questionamentos que nos levaram à reflexão. E à professora Márcia Maria G. Alcoforado de Moraes, pelo tempo disponibilizado para me ensinar um pouco do que muito sabe sobre a modelagem hidroeconômica.

Ao meu companheiro Gustavo Lopes, pelo auxílio e encorajamento em todas as etapas desse trabalho, por me mostrar que sempre foi possível e por segurar a minha mão nos momentos mais difíceis.

À Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, em especial, Cristiano Egnaldo Zinato e Patrick Thadeu Thomas, pelas conversas esclarecedoras, que me permitiram refletir na alocação de água na prática; e Mariane Moreira Ravanello, por me disponibilizar dados cruciais ao desenvolvimento da pesquisa.

Àqueles que não hesitaram em contribuir com os dados e esclarecimentos sobre o perímetro irrigado de Mirorós: a equipe da 2ª Superintendência Regional da Codevasf, em especial, Harley Xavier Nascimento, Arnaldo Dantas A. Filho e Ubirajara Bessa Filho; a equipe do Escritório do Distrito de Irrigação do Perímetro Irrigado de Mirorós (DIPIM), em especial Isaías Neri Santana, Valdinei Oliveira Silva e Flávio Ferreira Gomes; e ao técnico agropecuário Cleiton da Silva Dourado.

A todas as pessoas que de forma direta ou indireta ainda estiveram dispostas a me auxiliar, em especial, o Sr. Antônio Ribeiro Mariano (Embasa), o Sr. Marco Antônio Peixinho (CERB), ao CBHVJ e à empresa Tropical Poços, meus sinceros agradecimentos.

A todos os meus colegas e amigos do ProfÁgua, que compartilharam os momentos de aprendizados, alegrias e dificuldades. Aprendi muito com cada um de vocês. A união dessa turma fez a diferença nessa caminhada. Agradeço em especial, àqueles que contribuíram diretamente com a minha pesquisa: Rita, por ter me dado todo o apoio no Seminário do ProfÁgua, você é uma pessoa incrível; Edison, aprendi muito com sua experiência nas bacias dos rios Verde e Jacaré e na gestão de recursos hídricos, te admiro; Carol e Israel, mestres das águas subterrâneas, vocês me ensinaram um pouco do “mundo” de vocês; Gisele, Geneci e Izis, que, de alguma forma, me auxiliaram na etapa de levantamento de dados.

Aos professores do ProfÁgua/UFBA, que me proporcionaram grandes conhecimentos da Gestão das Águas; e ao Grupo de Recursos Hídricos GRH/UFBA, pelo apoio acadêmico, em especial, Denise, Micaela, Sival e Rodrigo.

Aos meus amigos, que compreenderam meus momentos de ausência e vibraram com as minhas conquistas, em especial, a Ludmilla Mota, por ter me acolhido em sua casa durante parte dessa jornada. E aos meus colegas de trabalho do Programa IFBA Saneando a Bahia, que sempre respeitaram meus compromissos e prazos com o mestrado.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, agradeço também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE N°. 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

RESUMO

Considerando as práticas tradicionais de gestão dos recursos hídricos, a demanda de água geralmente é analisada como um valor fixo. No entanto, a crescente escassez de água torna a sua demanda variável, representada pelo valor econômico. A integração entre ferramentas hidrológicas e econômicas na alocação de água, através da abordagem hidroeconômica, reflete à percepção de escassez desse recurso. Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo estabelecer procedimentos para a implementação da abordagem hidroeconômica na alocação de água em reservatórios do semiárido brasileiro que apresentam conflitos de uso envolvendo a irrigação. Para embasar a proposta de procedimentos, foi realizada uma aplicação no reservatório Mirorós, localizado nas bacias hidrográficas dos rios Verde e Jacaré, no estado da Bahia. A metodologia desenvolvida contemplou três etapas. A primeira etapa consistiu no levantamento de fatores internos e externos que influem no processo de alocação de água. A segunda etapa compreendeu a determinação do comportamento das demandas de água dos três principais usuários do reservatório: abastecimento humano, perímetro irrigado de Mirorós e irrigantes ribeirinhos a jusante do reservatório. A última etapa consistiu na análise da abordagem hidroeconômica no processo de alocação de água, utilizando o modelo de suporte à decisão AcquaNet. Nessa etapa identificou-se o desempenho do sistema e os custos de escassez gerados em diferentes alternativas de alocação de água. A partir da análise da atual alocação de água foi possível identificar que a flexibilidade nos acordos e a participação dos usuários na alocação negociada podem ser aproveitadas de forma conjunta com a abordagem hidroeconômica, e que a incerteza dos dados existentes confere limitações à aplicação da abordagem. Com base na análise econômica identificou-se que o abastecimento humano possui menor valor agregado à água, e que a minimização dos custos econômicos ocorreu quando maior quantidade de água foi alocada para os irrigantes a jusante. Como os benefícios adquiridos por determinados usuários podem impor elevados custos aos demais, os resultados revelaram que a análise hidroeconômica influi no processo de alocação de água. No entanto, a alocação de água fundamentada apenas na abordagem hidroeconômica pode não representar uma solução economicamente eficiente. Diante dos resultados obtidos nas três etapas, fundamentou-se a proposta de um modelo de alocação de água que associa a alocação negociada e a abordagem hidroeconômica.

Palavras-chaves: Alocação de Água. Modelo hidroeconômico. Custo de escassez. Operação de reservatórios.

ABSTRACT

Considering traditional water resource management practices, water demand is usually analyzed as a fixed demand. However, the growing scarcity of water availability makes its demand a variable requirement, represented by the economic value. The integration between hydrological and economic tools in the allocation of water, through the hydro-economic approach, reflects the perception of scarcity of this resource. In view of this fact, the present work aims at establishing procedures for an economic approach implementation when allocating capacity of water reservoirs in the Brazilian semiarid region which present conflicts and disputes regarding irrigation. To support the proposed procedures, an application was made in the Mirorós reservoir, located in the hydrographic basins of the Verde and Jacaré rivers, in the state of Bahia. The methodology developed included three stages. The first stage consisted of surveying internal and external factors that influence the water allocation process. The second stage involved determining the behavior of the water demands of the three main users of the reservoir: human supply, irrigated perimeter of Mirorós and riverside irrigators downstream of the reservoir. The last step consisted of analyzing the hydro-economic approach in the water allocation process, using the AcquaNet decision support model. In this stage, the system performance and the losses and costs generated by scarcity, in different water allocation alternatives, were identified. From the analysis of the current water allocation, it was possible to identify that the flexibility in the agreements and the participation of users, when negotiating allocation, are important parts of the process, in conjunction with the hydro-economic approach, nevertheless the uncertainty of the existing data brings limitations to the application of the approach. Based on the economic analysis, it was identified that human supply has less added value to water, and that the minimization of economic costs occurred when more water was allocated to the downstream irrigators. As the benefits acquired by certain users can impose high costs on others, the results revealed that the hydro-economic analysis influences the water allocation process. However, the allocation of water based only on the hydro-economic approach may not represent a socioeconomically efficient solution. In face of the results during the three stages, the proposal for a water allocation model that combines the negotiated allocation and the hydro-economic approach.

Keywords: Water allocation. Hydro-economic model. Scarcity cost. Reservoir operation.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|-----|
| Figura 1 - Metodologia de alocação de água em açudes isolados utilizada pela Agência Nacional de Águas | 31 |
| Figura 2- Curvas de utilidade marginal e utilidade total | 34 |
| Figura 3 - Localização da RPGA dos rios Verde e Jacaré..... | 47 |
| Figura 4 - Mapa de localização do reservatório Mirorós | 49 |
| Figura 5 - Volume de Água no Reservatório Mirorós entre 1990 e 2020 | 51 |
| Figura 6 – Comparativo de volumes no reservatório Mirorós (hm ³)..... | 52 |
| Figura 7 – Vazões médias mensais afluentes ao reservatório Mirorós(1913-2013)..... | 53 |
| Figura 8 - Curva de regularização do reservatório Mirorós | 54 |
| Figura 9 - Dados de precipitação e evaporação potencial no Reservatório Mirorós | 54 |
| Figura 10 – Esquema do SIAA Irecê | 56 |
| Figura 11 - Evolução do Valor Bruto de Produção do projeto de Mirorós | 58 |
| Figura 12 -Usuários do sistema hídrico | 59 |
| Figura 13 -Estados hidrológicos do sistema hídrico Mirorós..... | 62 |
| Figura 14 - Esquema da metodologia da pesquisa | 67 |
| Figura 15 - Distribuição espacial dos postos fluviométricos (HIDROWEB) utilizados na calibração/validação do MODHAC | 76 |
| Figura 16 -Vazões médias mensais afluentes ao reservatório - Próprio autor (2013-2020)..... | 78 |
| Figura 17 - Vazões médias mensais afluentes ao reservatório – ANA (1926-1933) | 79 |
| Figura 18 - Matriz SWOT | 83 |
| Figura 19 – Funções de demanda ordinária e “tudo ou nada” | 86 |
| Figura 20 – Fluxograma da análise da influência da abordagem hidroeconômica na alocação de água..... | 91 |
| Figura 21 - Curvas de benefício marginal para modelagem no AcquaNet | 94 |
| Figura 22 - Configuração da curva de demanda em arcos econômicos | 94 |
| Figura 23 – Representação do Sistema hídrico Mirorós e Adutora do rio São Francisco..... | 96 |
| Figura 24 – Representação do Sistema hídrico Mirorós..... | 96 |
| Figura 25 - Representação gráfica do custo da escassez | 100 |
| Figura 26 - Análise SWOT da Alocação de Água no Reservatório Mirorós | 109 |
| Figura 27 - Valor da água para os usuários do Reservatório Mirorós no ponto de operação. | 117 |
| Figura 28 - Curva de Benefício marginal dos usuários do sistema hídrico Mirorós | 118 |
| Figura 29 - Vazões fornecidas e <i>déficit</i> hídrico: reservatório Mirorós e adutora do rio São Francisco (2013-2020)..... | 119 |
| Figura 30 - Vazões fornecidas e <i>déficit</i> hídrico: reservatório Mirorós e adutora do rio São Francisco (1926-1933)..... | 120 |
| Figura 31 – Indicadores de desempenho Reservatório Mirorós e Adutora do rio São Francisco - Período de vazões afluentes de 2013 a 2020..... | 121 |
| Figura 32 – Indicadores de desempenho do Reservatório Mirorós e Adutora do rio São Francisco - Período de vazões afluentes de 1926 a 1933. | 123 |
| Figura 33 - Vazões fornecidas e <i>déficit</i> hídrico: Reservatório Mirorós (2013-2020) | 125 |
| Figura 34 - Vazões fornecidas e <i>déficit</i> hídrico: Reservatório Mirorós (1926-1933) | 125 |
| Figura 35 - Índices de desempenho: Reservatório Mirorós - Período de vazões afluentes de 2013 a 2020 | 127 |
| Figura 36 - Índices de desempenho: Reservatório Mirorós - Período de vazões afluentes de 1926 a 1933 | 128 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|-----|
| Tabela 1 – Elasticidades-preço da demanda nas bacias hidrográficas do estado da Bahia | 38 |
| Tabela 2 - Dados referentes ao abastecimento público da Adutora do Feijão | 71 |
| Tabela 3 - Dados do cultivo de Banana prata-anã no Perímetro irrigado de Mirorós (2019) .. | 72 |
| Tabela 4 -Volumes de água captados para o Perímetro irrigado de Mirorós | 72 |
| Tabela 5 - Dados da produção agrícola nos municípios de Ibipeba e Itaguaçu da Bahia. | 73 |
| Tabela 6 - Curva cota-área-volume do reservatório Mirorós | 74 |
| Tabela 7 - Volumes operacionais do reservatório Mirorós | 74 |
| Tabela 8 - Evaporação mensal (mm) no reservatório Mirorós | 80 |
| Tabela 9 - Precipitação mensal (mm) no reservatório Mirorós | 80 |
| Tabela 10 - Vazões médias captadas (2015 a 2020)..... | 98 |
| Tabela 11 - Eficiência de sistemas de irrigação | 106 |
| Tabela 12 – Custos da Alternativa 1 para o abastecimento humano: Adutora de água bruta no leito principal do Rio São Francisco | 111 |
| Tabela 13 – Custos da Alternativa 2 para o abastecimento humano: Implantação de poços para captação de água subterrânea | 112 |
| Tabela 14 - Custos da Alternativa 1 para a irrigação: Adutora de água bruta no leito principal do Rio São Francisco..... | 113 |
| Tabela 15 - Custos da Alternativa 2 para a irrigação: Implantação de poços para captação de água subterrânea | 114 |
| Tabela 16 - Benefícios líquidos para o setor de abastecimento humano..... | 115 |
| Tabela 17 - Benefício líquido para o Perímetro irrigado de Mirorós | 116 |
| Tabela 18 - Benefícios líquidos para os irrigantes a jusante | 116 |
| Tabela 19 – Benefícios econômicos e custos de escassez das alternativas de alocação de água – Reservatório Mirorós e Adutora do rio São Francisco | 130 |
| Tabela 20 – Benefícios econômicos e custos de escassez das alternativas de alocação de água – Reservatório Mirorós..... | 132 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|-----|
| Quadro 1 - Categorias da elasticidade-preço da demanda..... | 35 |
| Quadro 2 - Métodos para obtenção da Curva de Demanda da água..... | 39 |
| Quadro 3 - Dados Técnicos do Sistema Hídrico Mirorós | 50 |
| Quadro 4 - Condições de uso da água no sistema Mirorós | 63 |
| Quadro 5 - Referências utilizadas na obtenção dos custos de alternativas de captação de água | 69 |
| Quadro 6 - Referência dos dados utilizados pra o balanço hídrico mensal | 77 |
| Quadro 7 -Outorgas de uso da água emitidas para o reservatório Mirorós | 80 |
| Quadro 8 - Usos associados ao reservatório e respectivas vazões médias anuais | 81 |
| Quadro 9 - Vazões outorgadas a jusante do reservatório até a confluência com o Riacho da Conceição | 81 |
| Quadro 10 - Demandas por água dos usuários do reservatório Mirorós e suas respectivas elasticidades-preços da demanda..... | 115 |
| Quadro 11 - Alternativas de alocação: Reservatório Mirorós e Adutora do rio São Francisco | 119 |

LISTA DE SIGLAS

| | |
|----------|--|
| AGERSA | Agência Reguladora de Saneamento Básico do Estado da Bahia |
| ANA | Agência Nacional de Águas |
| BHVJ | Bacias Hidrográficas dos rios Verde Jacaré |
| CBHVJ | Comitê das Bacias Hidrográficas dos rios Verde Jacaré |
| CNARH | Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos |
| CODEVASF | Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba |
| COHID | Coordenação de Estudos Hidrológicos |
| COMAR | Coordenação de Marcos Regulatórios e Alocação de Água |
| CPRM | Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais |
| DAP | Disposição a pagar |
| DIPIM | Distrito de Irrigação do Perímetro Irrigado de Mirorós |
| DNOCS | Departamento Nacional de Obras Contra as Secas |
| ECHO | <i>Extended Continental-scale Hydroeconomic Optimization</i> |
| EMATER | Empresa de Assistência Técnica e Rural do Distrito Federal |
| EMBASA | Empresa Baiana de Águas e Saneamento |
| GAMS | <i>General Algebraic Modeling System</i> |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| INEMA | Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos |
| INMET | Instituto Nacional de Meteorologia |
| LABSID | Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões |
| MMA | Ministério do Meio Ambiente |
| MODHAC | Modelo Hidrológico Auto Calibrável |
| OCDE | Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico |
| PCDA | <i>Plan-Do-Check-Out</i> |
| PIB | Produto interno bruto |
| PMP | <i>Positive Mathematical Programming</i> (Programação matemática positiva) |
| PNRH | Política Nacional de Recursos Hídricos |
| PRH | Plano de Recursos Hídricos |
| RPGA | Região de Planejamento e Gestão das Águas |
| RSF | Rio São Francisco |
| SIAA | Sistema Integrado de Abastecimento de Água |
| SIAGAS | Sistema de Informações de Águas Subterrâneas |
| SINGREH | Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos |
| SNIRH | Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos |
| SNIS | Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento |
| SPR | Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos |
| SRE | Superintendência de Regulação |
| SWOT | <i>Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats</i> |
| UPGRH | Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos |
| VBP | Valor bruto de produção |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 16 |
| 1.1. OBJETIVOS DE PESQUISA..... | 19 |
| 2. REFERENCIAL TEÓRICO | 21 |
| 2.1. ALOCAÇÃO DE ÁGUA EM RESERVATÓRIOS..... | 21 |
| 2.1.1. Reservatórios de acumulação de água..... | 21 |
| 2.1.2. Conflitos pelo uso da água em reservatórios do semiárido brasileiro | 22 |
| 2.1.3. Mecanismos de Alocação de água | 24 |
| 2.1.4. Metodologia da Agência Nacional de Águas para Alocação de Águas em Açudes Isolados..... | 30 |
| 2.1.5. Alocação de água a partir da análise hidroeconômica..... | 31 |
| 2.2. CURVAS DE DEMANDA DA ÁGUA | 32 |
| 2.2.1. Elasticidade-preço da demanda | 34 |
| 2.2.2. Métodos para obtenção da Curva de Demanda..... | 38 |
| 2.2.3. Aplicações para curva de demanda da água no processo de alocação de água | 39 |
| 2.3. MODELOS HIDROECONÔMICOS | 41 |
| 3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO | 47 |
| 3.1. BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS VERDE E JACARÉ | 47 |
| 3.2. RESERVATÓRIO DE MIRORÓS | 49 |
| 3.3. DISPONIBILIDADE HÍDRICA NO RESERVATÓRIO MIRORÓS..... | 50 |
| 3.4. DEMANDAS HÍDRICAS | 55 |
| 3.4.1. Abastecimento Humano – SIAA rio Verde | 55 |
| 3.4.2. Perímetro Irrigado de Mirorós | 57 |
| 3.4.3. Usos a jusante do reservatório..... | 58 |
| 3.4.4. Caracterização do conflito entre os usos | 59 |
| 3.4.5. Procedimentos de alocação de água no Reservatório Mirorós..... | 61 |
| 4. METODOLOGIA | 65 |
| 4.1. LEVANTAMENTO E ANÁLISE DE DADOS..... | 68 |
| 4.1.1. Dados para análise da alocação de água atual..... | 68 |
| 4.1.2. Dados para obtenção da elasticidade-preço da demanda | 68 |
| 4.1.3. Dados para obtenção das curvas de demanda de água dos usuários..... | 71 |
| 4.1.4. Dados hidrológicos..... | 73 |
| 4.1.5. Outorgas de uso da água | 80 |
| 4.2. ANÁLISE DAS ATUAIS CONDIÇÕES DE USO DA ÁGUA NO SISTEMA HÍDRICO | 82 |

| | | |
|--------|---|-----|
| 4.3. | CONSTRUÇÃO DAS CURVAS DE DEMANDA DE ÁGUA DOS USUÁRIOS DO RESERVATÓRIO MIRORÓS | 83 |
| 4.3.1. | Determinação da elasticidade-preço da demanda | 84 |
| 4.3.2. | Estimativa do benefício marginal para o abastecimento humano | 87 |
| 4.3.3. | Estimativa do benefício marginal para o perímetro irrigado..... | 88 |
| 4.3.4. | Estimativa do benefício marginal para os irrigantes a jusante..... | 89 |
| 4.4. | APLICAÇÃO DA ABORDAGEM HIDROECONÔMICA NA ALOCAÇÃO DE ÁGUA..... | 89 |
| 4.4.1. | O modelo Labsid AcquaNet..... | 92 |
| 4.4.2. | Representação do sistema no modelo AcquaNet | 95 |
| 4.4.3. | Definições gerais do modelo..... | 97 |
| 4.4.4. | Dados de entrada do reservatório | 97 |
| 4.4.5. | Entrada de dados das demandas de água..... | 97 |
| 4.4.6. | Estimativa dos benefícios e custos econômicos obtidos pelos usuários nas diferentes alternativas de alocação de água | 99 |
| 4.5. | INDICADORES DE DESEMPENHO | 101 |
| 4.5.1. | Indicador de confiabilidade | 101 |
| 4.5.2. | Indicador de resiliência | 101 |
| 4.5.3. | Indicador de vulnerabilidade | 102 |
| 4.5.4. | Indicador de sustentabilidade | 102 |
| 5. | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 103 |
| 5.1. | ANÁLISE SWOT DO PROCESSO DE ALOCAÇÃO DE ÁGUA NO RESERVATÓRIO MIRORÓS | 103 |
| 5.2. | COMPORTAMENTO DA DEMANDA DE ÁGUA DOS USUÁRIOS DO RESERVATÓRIO MIRORÓS | 111 |
| 5.2.1. | Determinação das elasticidades-preço da demanda..... | 111 |
| 5.2.2. | Estimativa das curvas de demanda de água dos usuários do reservatório Mirorós | 115 |
| 5.3. | ANÁLISE DA APLICAÇÃO DA ABORDAGEM HIDROECONÔMICA NA ALOCAÇÃO DE ÁGUA..... | 118 |
| 5.3.1. | Alternativas da alocação de água do sistema hídrico formado pelo Reservatório Mirorós e a Adutora do rio São Francisco..... | 118 |
| 5.3.2. | Alternativas da alocação de água no sistema hídrico formado pelo Reservatório Mirorós | 124 |
| 5.3.3. | Análise da distribuição dos benefícios/custos econômicos obtidos pelos usuários..... | 129 |
| 5.4. | CONTRIBUIÇÕES PARA O SINGREH..... | 133 |
| 6. | CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 137 |
| 6.1. | LIMITAÇÕES DA PESQUISA | 139 |
| 6.2. | RECOMENDAÇÕES | 140 |

| | |
|---|------------|
| 7. REFERÊNCIAS | 142 |
| APÊNDICE A – BALANÇO HÍDRICO DO RESERVATÓRIO MIRORÓS (maio/2013 a abril/2020) | 153 |
| APÊNDICE B - DADOS UTILIZADOS NAS ESTIMATIVAS DE CUSTOS DAS ALTERNATIVAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA PARA OBTENÇÃO DA DEMANDA “TUDO OU NADA” DO ABASTECIMENTO HUMANO..... | 157 |
| APÊNDICE C - DADOS UTILIZADOS NAS ESTIMATIVAS DE CUSTOS DAS ALTERNATIVAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA PARA OBTENÇÃO DA DEMANDA “TUDO OU NADA” DA IRRIGAÇÃO | 158 |
| APÊNDICE D - CUSTOS DA ALTERNATIVA 1 PARA O ABASTECIMENTO HUMANO (ADUTORA DE ÁGUA BRUTA) | 159 |
| APÊNDICE E - CUSTOS DA ALTERNATIVA 2 PARA O ABASTECIMENTO HUMANO (IMPLANTAÇÃO DE POÇOS)..... | 161 |
| APÊNDICE F - CUSTOS DA ALTERNATIVA 1 PARA A IRRIGAÇÃO (ADUTORA DE ÁGUA BRUTA) | 162 |
| APÊNDICE G - CUSTOS DA ALTERNATIVA 2 PARA A IRRIGAÇÃO (IMPLANTAÇÃO DE POÇOS) | 164 |
| APÊNDICE H- PRODUTO TÉCNICO: PROCEDIMENTOS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DA ABORDAGEM HIDROECONÔMICA NA ALOCAÇÃO NEGOCIADA DE ÁGUA EM RESERVATÓRIOS ENVOLVENDO O USO DE IRRIGAÇÃO. | 165 |
| ANEXO A - VAZÕES AFLUENTES AO RESERVATÓRIO MIRORÓS – PERÍODO DE 1926 A 1933 (M³/S) | 175 |

1. INTRODUÇÃO

O Nordeste Brasileiro apresenta baixa disponibilidade hídrica, visto que é uma região caracterizada por baixos índices pluviométricos, chuvas irregulares, altas temperaturas durante todo o ano e baixa capacidade de armazenar água no solo. Para mitigar os impactos causados por essas características naturais, são construídas obras de infraestrutura com o objetivo de garantir a segurança hídrica, destacando-se os reservatórios artificiais que possibilitam o aumento da disponibilidade hídrica superficial (ANA, 2019b).

A disponibilidade hídrica pode ser entendida como o volume de água que pode ser utilizado pela sociedade sem comprometer o meio. Os múltiplos usos da água (consuntivos ou não) impõem restrições quantitativas e qualitativas à disponibilidade. O principal exemplo de alteração na disponibilidade da água em um rio é a captação de grandes volumes, seja para abastecimento humano, irrigação ou indústria. No entanto, os usos não consuntivos também podem gerar mudanças significativas no hidrograma de um curso d'água, como por exemplo, a construção de barragem para geração de energia elétrica. Esses múltiplos usos da água, associados ao aumento da demanda e aos períodos de estiagem podem gerar situações de tensões e disputas entre os diferentes usuários, caracterizando-as como conflitos pelo uso da água (CAVALCANTI E MARQUES, 2016; CRUZ E TUCCI, 2008).

Os maiores conflitos em bacias hidrográficas brasileiras têm como um dos principais usuários a irrigação. Isso acontece porque o setor agrícola representa o maior uso consuntivo no país, sendo responsável por cerca de 46% do total de captação de água. Tais conflitos ocorrem entre os próprios irrigantes, ou entre os irrigantes e outros setores, como o abastecimento humano (BRASIL, 2016; ANA, 2017a). Quando se trata da região semiárida, onde a evapotranspiração é maior que a precipitação, ocorrendo o *déficit* hídrico, a irrigação torna-se uma prática de grande interesse para a produção de alimentos e para o desenvolvimento agrícola. Sendo assim, a irrigação torna-se uma prática mitigadora dos prejuízos causados pelas chuvas irregulares que caracterizam a região. A agricultura irrigada no semiárido brasileiro ocorre desde a pequena propriedade até propriedades agrícolas empresariais com áreas extensas (BASSOI *et al*, 2010; CASTRO, 2018).

A tomada de decisão na região semiárida representa um grande desafio para a gestão sustentável dos recursos hídricos (ANA, 2017b). Alcançar a sustentabilidade na gestão dos recursos hídricos é alocar a água para atender as demandas das gerações presentes de forma que não prejudique a capacidade de regeneração dos sistemas hídricos e não comprometa o atendimento

das necessidades de futuras gerações (SILVA *et al*, 2017). Sendo assim, é preciso compreender que a água é um recurso natural limitado e que deve ser alocada de forma sustentável.

A alocação de água é um processo da gestão de recursos hídricos para regular os múltiplos usos da água em sistemas hídricos que apresentem conflitos de uso, estiagens intensas e/ou situações emergenciais (ANA, 2019a). A alocação de água envolve múltiplos aspectos, sejam eles políticos, econômicos, sociais, culturais ou ambientais. A Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico – OCDE (2015) cita como considerações relevantes para o processo de alocação: os arranjos já existentes, tais como as atuais demandas de água; os requisitos futuros, como o aumento da demanda projetada devido ao crescimento populacional; os objetivos estratégicos, por exemplo, metas de produção agrícolas; custos e benefícios econômicos das diferentes alternativas; e as alternativas para o uso, como a possibilidade de captação em outros mananciais.

Para Speed *et al* (2013), a alocação de água consiste no processo de decisão de compartilhamento do recurso hídrico entre diferentes usuários quando a disponibilidade hídrica natural não atende às demandas. O autor cita alguns objetivos da alocação de água:

- Equidade: alocação da água de forma justa e equitativa entre os usuários, podendo incluir equidade entre diferentes regiões administrativas. Sendo assim, pode incentivar maior atendimento dos interesses de grupos socialmente marginalizados.
- Proteção ambiental: reconhecimento das necessidades dos ecossistemas e proteção de importantes funções dos recursos hídricos, por exemplo, transporte de sedimentos, recarga de aquíferos, assimilação de efluentes e ambiente estuarino.
- Prioridades de desenvolvimento: promover o desenvolvimento econômico e social.
- Uso eficiente da água: promover o uso da água disponível de forma mais eficiente e racionalizada.
- Equilíbrio entre oferta e demanda: relação entre a disponibilidade natural e o suprimento das demandas de água, evitando *déficits* hídricos frequentes.

As políticas governamentais para gerenciamento e alocação dos recursos hídricos baseiam-se principalmente em instrumentos de comando e controle, que focam no papel do Estado como regulamentador direto. A ANA busca alternativas de aumento da disponibilidade de água na região do semiárido, e uma delas é o gerenciamento da demanda através da implementação de mecanismos econômicos de alocação de água, objetivando o uso mais eficiente do recurso, tais como a cobrança pelo uso da água. Sendo assim, os instrumentos econômicos surgem como

complemento ou alternativa para tornar mais eficientes as políticas ambientais. Os aspectos econômicos entram em evidência na alocação de água à medida que a escassez hídrica se eleva. (BALTAR, 2001; ANA, 2014; ANA, 2002).

Nas práticas tradicionais de planejamento e gestão das águas, geralmente, as metas de operação estabelecidas para uso da água são fixas. Assim, é mais comum a demanda de água corresponder a um valor fixo. Isso pode ser observado nos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, visto que quando se trata de outorgas e prioridades de uso da água, comumente as demandas de água são tratadas como fixas. No entanto, a partir do momento em que esse recurso se torna escasso, é importante considerar a demanda de água como uma quantidade variável. A abordagem econômica auxilia gestores de recursos hídricos a tratar a água com uma visão que reflete a escassez, assim a demanda hídrica deixa de ser um requerimento “fixo” e passa a ser representada pelo valor econômico (SILVA, 2017; HAROU *et al*, 2009). A demanda variável de água é de particular interesse para a economia, visto que a demanda de água em quantidades variáveis revela a noção de preço, tema central aos problemas de natureza econômica.

De acordo com Carrera-Fernandez e Garrido (2002), o maior problema da ineficiência na alocação de água se dá por ser um recurso público, o qual os usuários, geralmente, subestimam seu valor, causando como consequência a superutilização desse recurso. Os autores ressaltam que as decisões de um usuário afetam o uso da água de outros usuários, causando um efeito externo, denominado externalidade. As decisões individuais de cada usuário não levam em consideração esse efeito. No entanto, os instrumentos econômicos funcionam como mecanismos de internalização das externalidades que um usuário impõe aos demais.

George *et al* (2010) afirmam que é fundamental compreender a alocação de água a partir da integração de ferramentas econômicas com as ferramentas hidrológicas, visto que a demanda de água se torna cada vez maior, porém a oferta não acompanha esse crescimento. Os autores citam ainda que no processo de alocação de água, é preciso considerar que as pessoas fazem escolhas sobre seus usos, implicando em consequências econômicas. Dessa forma, destaca-se a importância de considerar a demanda de água como variável.

Sendo assim, autores incorporaram os valores econômicos da água no processo de alocação e gerenciamento dos recursos hídricos, resultando na análise hidroeconômica. Os estudos relacionados a modelos hidroeconômicos têm avançado nos últimos anos, possibilitando a integração das análises hidrológicas, ambientais e econômicas, destacam-se dentre eles, Baltar (2001), Brigagão (2006), Andrade (2006), Moraes *et al* (2006), Machado e Cordeiro Netto

(2010), Kimaite (2011), Torres *et al* (2014), Davidsen *et al* (2015), Silva e Moraes (2018), entre outros.

A área de estudo escolhida para esse trabalho foi a do reservatório Mirorós, localizado no rio Verde, afluente do rio São Francisco. Por regularizar um regime hidrológico característico do semiárido, esse sistema hídrico torna-se naturalmente crítico em relação à disponibilidade hídrica. Além disso, o aumento das práticas de desmatamento e queimadas a montante do reservatório contribui para a redução da sua disponibilidade e agrava a situação de conflitos (Cunha *et al*, 2010).

De acordo com Cunha *et al* (2010), os conflitos nesse sistema se iniciaram no ano de 1989, quando o nível do reservatório rebaixou a ponto de não atender às demandas de irrigação. Os autores mostram ainda uma recuperação do nível de água nos anos seguintes, porém que volta a decrescer principalmente após o ano de 2003. Desde então, o sistema hídrico sofre com a baixa disponibilidade e com a impossibilidade de atendimento às suas principais demandas: irrigação e abastecimento humano (ANA, 2020; ANA 2017e).

Por conta disso, a ANA passou a realizar a alocação de água negociada no reservatório, ou seja, as decisões são discutidas e tomadas entre os próprios usuários, sendo uma interessante alternativa para a regulação dos recursos hídricos, convém assimilar que para alcançar seus objetivos deve-se garantir a participação dos atores envolvidos. Além disso, a alocação negociada de água não retrata os benefícios e prejuízos econômicos dos usuários. Sendo assim, a pesquisa busca testar a hipótese de que incorporar os aspectos econômicos no processo de alocação de água já existente pode subsidiar as tomadas de decisões dos gestores. Caso validada a hipótese, é importante identificar quais os procedimentos necessários para implementação da abordagem hidroeconômica na alocação.

1.1.OBJETIVOS DE PESQUISA

Nesse contexto o objetivo geral da presente pesquisa é estabelecer procedimentos para a implementação da abordagem hidroeconômica para subsidiar a tomada de decisão na alocação de água em reservatórios do semiárido brasileiro que apresentam conflitos de uso envolvendo a irrigação.

A fim de alcançar o objetivo geral, perseguem-se os seguintes objetivos específicos:

- Identificar pontos estratégicos e restrições ao processo de alocação de água no reservatório Mirorós;

- Determinar o comportamento da demanda por água dos usuários do reservatório;
- Analisar a influência da abordagem hidroeconômica na alocação de água do reservatório.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O presente capítulo apresenta as principais ideias e conceitos teóricos que contribuirão para a compreensão do tema. Além disso, apresenta estudos realizados na área da modelagem hidroeconômica. O primeiro item do capítulo trata da alocação de água em reservatórios de acumulação de água; o segundo refere-se aos conceitos chave para a compreensão e determinação das curvas de demanda da água; e, por fim, o terceiro item apresenta experiências com modelagem hidroeconômica na alocação de água.

2.1. ALOCAÇÃO DE ÁGUA EM RESERVATÓRIOS

O item divide-se em cinco subitens. O primeiro apresenta a importância dos reservatórios de acumulação de água e características operacionais do reservatório importantes para a alocação de água. O segundo subitem refere-se a alguns conflitos de uso da água entre os usuários do abastecimento humano e irrigação no semiárido brasileiro. O terceiro trata de conceitos dos mecanismos de alocação de água. O quarto subitem apresenta a metodologia de alocação de água em sistemas isolados utilizada pela Agência Nacional de Águas. Por fim, o quinto subitem relaciona a alocação de água com a análise econômica.

2.1.1. Reservatórios de acumulação de água

Os reservatórios de acumulação geralmente são formados a partir de barramentos construídos em um curso d'água. A capacidade de armazenamento de água dos reservatórios depende principalmente das condições topográficas do vale em que a barragem foi construída (LOPES & SANTOS, 2002).

Os reservatórios possuem a função de regularizar vazões naturais, atenuando os efeitos das cheias e estiagens, dos períodos hidrológicos úmidos e secos, respectivamente. Sendo assim, um reservatório armazena a água resultante dos subperíodos chuvosos para ser utilizada nos subperíodos de estiagem, possibilitando a redistribuição espacial e temporal da água.

Os reservatórios podem ser utilizados para diversas finalidades, tais como abastecimento humano, dessedentação animal, irrigação, uso industrial, incluindo a mineração, controle de cheias, navegação, piscicultura e aquicultura, geração de energia hidrelétrica e recreação e lazer. No entanto, é mais comum os reservatórios serem dimensionados para atender duas ou mais finalidades, sendo chamados de reservatório de múltiplos usos.

O volume de água em um reservatório pode ser dividido em níveis, níveis estes que são dados importantes na operação de reservatórios. Tem-se o nível de água mínimo, que limita o volume

de água necessário para a operação adequada de um reservatório; o nível de água meta, que compreende o volume útil de operação, representando a cota de operação normal do reservatório; e o nível de água máximo, que é o nível de água permitido na operação normal de um reservatório, compreendendo o volume útil e o volume alocado para o controle de cheias (MEES, 2012?).

2.1.2. Conflitos pelo uso da água em reservatórios do semiárido brasileiro

Dentre os usuários concorrentes pelo uso da água em bacias hidrográficas que apresentam índices hídricos críticos, aqueles que apresentam maiores usos consuntivos são os produtores agrícolas, através da irrigação. A criticidade é consequência das altas demandas e/ou da indisponibilidade hídrica para atender às necessidades dos usuários, gerando conflitos. Regiões com baixa pluviosidade são mais afetadas pelos conflitos, como é o caso do semiárido (ANA, 2017a). Diversos sistemas hídricos têm sofrido com a redução da disponibilidade de água.

Além dos conflitos entre os usuários da irrigação, a agricultura irrigada aparece em diversas regiões disputando por água com o abastecimento humano. Um dos fundamentos da Política Nacional de Recursos Hídricos enuncia que “em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o abastecimento humano e a dessedentação de animais” (BRASIL, 1997, art. 1º, inc III). No entanto, a agricultura irrigada representa um importante fator para subsistência do homem no campo, possibilitando aumento da produtividade agrícola, elevação da renda e melhorias na qualidade de vida da população rural (TESTEZLAF *et al*, 2002).

A bacia hidrográfica do rio São Francisco é um grande exemplo de conflitos pelo uso da água. Em relação à demanda observa-se um aumento do uso da água para o abastecimento humano, irrigação, geração de energia, entre outros. Já em relação à oferta, tem-se uma grande redução da disponibilidade da água, causada por efeitos naturais e antrópicos, tais como poluição e desmatamentos (PEDROSA, 2017).

De acordo com Pedrosa (2017), para exemplificar a expansão da agricultura irrigada e o surgimento dos conflitos pelo uso da água, em 2016, os agricultores do oeste da Bahia suspenderam a irrigação em mais da metade da área agrícola irrigada por pivôs, devido à redução da vazão dos rios na região. Em 2015, no Distrito de Irrigação de Nilo Coelho, também foi preciso reduzir a vazão de água disponibilizada para a irrigação, devido às regras de racionamento adotadas em decorrência do rebaixamento do nível de água na barragem de Sobradinho.

No rio Salitre, desde a década de 70, diversos barramentos foram construídos sem previsão de descarga de fundo, anteriormente à necessidade de outorga para esse tipo de obra. Essas obras prejudicaram a manutenção da vazão no rio, configurando situações de *déficit* hídrico. Os conflitos passaram a acontecer quando houve choque de interesses da agricultura irrigada e dos sistemas de abastecimento humano, faltando água para abastecer às cidades. O conflito teve seu auge no ano de 1984, por meio de confronto armado, quando salitreiros interromperam a rede elétrica que alimentava as grandes captações (PEDROSA, 2017).

O rio Vaza-Barris enfrenta grandes estiagens. Sua situação é atenuada pela operação do açude Cocorobó. No entanto, segundo a Agência Nacional de Águas (ANA,2017c), o *déficit* hídrico, associado à utilização de métodos de irrigação com baixa eficiência, torna a regulação dos usos uma tarefa difícil, gerando conflitos entre os usuários. Os conflitos são ainda mais significativos em longas estiagens, quando o sistema não consegue atender de forma plena e contínua todas as demandas.

O reservatório de Ceraíma, construído pelo DNOCS na década de 1960 e operado atualmente pela CODEVASF, apresenta situações de conflitos entre os usos para irrigação no Perímetro Irrigado Ceraíma e sistema de abastecimento da região de Guanambi. Devido às condições de escassez hídrica, as demandas no reservatório, tanto de irrigação quanto de abastecimento humano, não são plenamente atendidas (ANA, 2017d), obrigando os usuários a buscarem alternativas de racionamento da água.

Na sub-bacia do Baixo Jaguaribe, localizada no Ceará, encontram-se rios perenes e um dos maiores açudes do Nordeste, o açude Castanhão, além do açude Orós, porém, ainda assim, a bacia enfrenta a escassez hídrica, que ocasiona conflitos entre os usuários de água. Os conflitos ocorrem entre as empresas instaladas nos perímetros irrigados e os pequenos agricultores. Existem ainda conflitos entre os agricultores e o abastecimento humano, visto que o açude Castanhão abastece a Região Metropolitana de Fortaleza. Os agricultores alegam que a população da região metropolitana desperdiça grande quantidade de água, por outro lado existem diversos sistemas de irrigação através de inundação do plantio, consumindo grande quantidade de água (PEREIRA E CUELLAR, 2015).

Outro exemplo é o reservatório Mirorós, área de estudo desse trabalho, que foi construído para atender o perímetro irrigado de Mirorós, abastecer municípios da região e perenizar o rio Verde. No entanto, o reservatório passou por uma grande redução do nível de água, que se estende até os dias atuais, impossibilitando o atendimento das demandas. Em 2011, optou-se pela interrupção da irrigação através da resolução da ANA nº 273/2010. No ano de 2013, foi

construída a Adutora do São Francisco, com o objetivo de atender às demandas de abastecimento público da região e amenizar os efeitos da escassez (PEDROSA, 2017). Mesmo assim, o nível de água no reservatório encontra-se muito baixo, não sendo possível atender às demandas.

2.1.3. Mecanismos de Alocação de água

Dinar *et al* (1997) discutem a existência de quatro mecanismos de alocação de água: Precificação baseada no Custo Marginal, Administração Pública da Água, Mercados de Água e Alocação Negociada.

- **Precificação baseada no Custo Marginal**

A alocação baseada no preço pelo custo marginal considera o preço da água igual ao custo marginal de suprimento da última unidade de água, incluídas todas as externalidades. Essa é considerada uma alocação de recursos hídricos economicamente eficiente ou socialmente ótima (DINAR *et al*, 1997).

A alocação baseada no custo marginal possibilita o uso racional da água, pois evita a tendência de sub-preço e, logo, o uso excessivo dos recursos hídricos. Sendo assim, quanto maior a situação de escassez, maior o preço da água. Dinar *et al* (1997), no entanto, explicam que esse mecanismo tende a desconsiderar o princípio da equidade. Logo, quando o preço se eleva, alguns usuários com renda mais baixa podem perder a capacidade do pagamento.

De acordo com Thomas (2002), na aplicação dessa metodologia deve-se determinar as curvas de benefício marginal e de custo marginal social da água na bacia a ser estudada. Além da dificuldade na estimativa das curvas benefício marginal, essa metodologia encontra um entrave na determinação da curva de custo marginal. A curva de custo marginal social deve incluir os custos da bacia (que estão relacionados aos custos de gestão e custos de investimento) e os custos externos. Segundo Pindyck e Rubinfeld (2013), os custos externos ocorrem quando a ação de determinado consumidor ou produtor exerce influência sobre os outros, mas não são refletidos no preço do mercado, como por exemplo, os custos causados pela poluição. Thomas (2002) ressalta a dificuldade em quantificar os custos externos e assim implementar a metodologia do preço baseado no custo marginal.

Moreira (2001) também ressalta a dificuldade em encontrar aplicações bem sucedidas dessa metodologia devido às dificuldades de implementação. Jean (1980) *apud* Moreira (2001) apresenta como essa metodologia é aplicada na França. A “Société du Canal de Provence et d’Amenagement de la Region Provençale” fornece água para a irrigação de uma área de 60.000

hectares cobrando um preço baseado no custo marginal de longo prazo¹. Existe um pico nos custos da tarifa que dura por quatro meses, nesse período ocorre a cobrança baseada na soma dos custos operacionais e os custos marginais de longo prazo. No restante do tempo são cobrados apenas os custos operacionais. As tarifas sofrem ainda um ajuste relacionado à poluição causada pelos efluentes.

- **Administração Pública da Água**

A água é considerada um bem de domínio público, e por isso, existe grande dificuldade em tratá-la como um bem de mercado, sendo assim a administração pública da água é o mecanismo de alocação mais utilizado (MOREIRA, 2001). Esse mecanismo institui o Poder Público como responsável pelo gerenciamento dos recursos hídricos, e portanto, responsável por definir os volumes de água passíveis de serem outorgados e a sua distribuição entre os usuários.

A alocação pública da água tende a promover objetivos de equidade e justiça social, no entanto, frequentemente, conduz a projetos hídricos economicamente inviáveis, pois, em geral, o preço cobrado não reflete os verdadeiros custos. A administração pública da água raramente incentiva o uso racional da água, podendo gerar desperdício e má alocação (DINAR *et al* 1997).

A administração pública da água baseia-se na distribuição, por parte do poder público, de cotas para os usuários: as outorgas de direito do uso da água. Os limites de utilização definidos, ou seja, a quantidade máxima de água que pode ser autorizada pelo poder público, são denominados critérios de outorga (SOUZA FILHO E PORTO, 2008; LOPES E FREITAS, 2007).

A alocação quali-quantitativa dos recursos hídricos é realizada pelo poder outorgante, e as autorizações de captação de água não podem ultrapassar a vazão de referência (ANA, 2013a). De acordo com Lopes e Freitas (2007) as vazões mínimas de referência são caracterizadas pela disponibilidade no corpo d'água e com baixa probabilidade de não ocorrência, inclusive nos períodos de estiagem, visto que se referem às situações mais severas. Essas vazões são definidas com base em vazões com alta permanência no tempo e grandes probabilidade de ocorrência, tais como a Q_{90} e a $Q_{7,10}$.

Devido à regularização das vazões ocasionadas pela construção de reservatórios, algumas entidades adotam critérios diferentes para rios regularizados. No estado de Minas Gerais, por exemplo, o limite de outorga é 30% da $Q_{7,10}$ a fio d'água, mas com a existência de reservatórios

¹ O custo marginal varia de acordo com o intervalo de tempo considerado, sendo esse curto ou longo prazo (Moreira, 2001). Os custos de longo prazo incluem futuros investimentos para aperfeiçoamento do projeto de engenharia, tais como aquisição de equipamentos e realização de obras.

toda a vazão regularizada pode ser outorgada, se respeitada a vazão mínima de jusante de 70% da $Q_{7,10}$ (LOPES E FREITAS, 2007).

De acordo com a Instrução Normativa INGÁ nº 01/2007 (BAHIA, 2007), os critérios de outorga estabelecidos para o estado da Bahia são:

- Quando houver lagoas naturais, barramentos construídos em mananciais perenes ou quando não houver barramentos: a soma das vazões outorgadas deve corresponder até 80% da Q_{90} . Ressalvando, os casos de abastecimento humano, que podem atingir até 95%.
- Lagos naturais ou barramentos construídos em corpos d'água intermitentes: a soma das vazões outorgadas tem o limite de 95% da Q_{90} .
- O limite de uso individual é de 20% da vazão de referência.

Para Souza Filho e Porto (2008), esse tipo de alocação é um mecanismo de comando e controle, sendo exercido por meio da outorga de direito do uso da água e da fiscalização. Os autores estudaram a relação entre a outorga e a fiscalização, buscando definir a efetividade da fiscalização no controle de ações dos usuários que se beneficiam do recurso, mas não pagam por aqueles custos. Sendo assim, os autores identificaram que uma fiscalização eficaz auxilia na problemática, no entanto ressaltam as dificuldades com os custos para tal atividade, podendo levar à ineficiência econômica. Os autores recomendam, ainda, a adoção de mecanismos de controle social da agência de águas por parte da população. Tal aspecto revela a importância do papel dos comitês de bacia hidrográfica.

• **Mercados de Água**

A alocação baseada em Mercados de Água consiste na transferência de direitos de uso da água de um usuário para outro. A quantidade e o preço da mercadoria são ditados pela disponibilidade e demanda pelo recurso (MOREIRA, 2001). Do ponto de vista econômico, os mercados de água devem atender alguns requisitos. Primeiramente, o mercado deve conter muitos vendedores e compradores, sem que haja papel de dominância entre eles, e com acesso a informações sobre as regras de mercado. Segundo, as decisões tomadas por cada agente (vendedor ou comprador) são independentes das ações tomadas por outros e não devem afetá-los. E por fim, os indivíduos devem ser motivados à maximização dos lucros (DINAR *et al*, 1997).

Ainda de acordo com os autores citados, o mecanismo de mercado de águas traz diversas vantagens, tais como: maior disponibilidade de água para o comprador, oportunidade do vendedor em aumentar a sua rentabilidade, incentivo à racionalização do uso da água, e maior flexibilidade em relação a alterações nos preços e valores da água de acordo com a demanda e

oferta. No entanto, as dificuldades relacionadas a esse mecanismo estão associadas principalmente a medição da água, definição de regras de retirada e possibilidade de mudanças de fluxo a jusante.

O estabelecimento de mercados de água faz com que os usuários levem em consideração o custo de oportunidade da água nas suas decisões de uso, implicando em maior facilidade na correção de imperfeições na alocação. E ainda, em situações de escassez hídrica, o mecanismo de mercado permite que a água seja utilizada pelos usuários que mais valorizarem seu uso, tornando-o mais eficiente. No entanto, a água é um recurso com fortes características de bem público, e geralmente, quando os recursos se comportam como bens públicos, uma solução conveniente é a ação do poder público, visto que as demandas e a oferta mensuram apenas parte dos custos e benefícios sociais. Ainda assim, a alocação de água por parte do poder público apresenta falhas, sendo mais recomendado, em um mundo imperfeito, utilizar uma combinação de um sistema de mercado com ações públicas (CARRERA-FERNANDEZ E GARRIDO, 2002). Em outras palavras, o mercado de águas não é um mercado de concorrência perfeita, pois as transações podem causar efeitos externos a terceiros (as externalidades). Compreende-se então a necessidade de ações da entidade ou órgão gestor para autorizar, ou negar, as transações com os direitos de uso da água.

Carrera-Fernandez e Garrido (2002) citam que os mercados de água bruta geralmente são rudimentares ou inexistentes (como é o caso do Brasil) e que o maior obstáculo ao estabelecimento de mercados de água é o fato de não existir condições legais para tal. Os autores ressaltam ainda que, no Brasil, além da quase impossibilidade legal de estabelecer transferências do direito de uso da água, não existem condições adequadas para o funcionamento do mercado, pois a criação deste exige um monitoramento contínuo por parte da entidade gestora, a fim de garantir o direito dos proprietários dos certificados de direitos.

No Brasil, em 2002, foi apresentado um projeto de lei, PL nº 6.979/2002, com o objetivo regulamentar a cobrança pelo uso da água, e que instituiu o mercado de águas em corpos hídricos da União, porém o mesmo encontra-se arquivado. Os requisitos estabelecidos para a transação de direitos de uso foram: o usuário deve ser detentor de outorga de direito de uso dos recursos hídricos e não possuir inadimplências com o SINGREH; o usuário deve apresentar à ANA estudo técnico e econômico da transação que deseja realizar; a ANA deve atestar que a transferência dos direitos não implica em danos a terceiros ou ao meio (BRASIL, 2002). No ano de 2017, foi apresentado o Projeto de Lei do Senado nº 495/2017, que busca introduzir os mercados de água como instrumento para promoção da alocação mais eficiente. De acordo com

o projeto de lei, os mercados funcionariam a partir da cessão de direitos de uso dos recursos hídricos entre usuários pertencentes à mesma bacia ou sub-bacia, e deveriam obter autorização das entidades outorgantes.

O Chile é um dos países que adota esse tipo de mecanismo de alocação de água. O Código de Águas desse país, instituído em 1980, declara a propriedade pública e inalienável dos recursos hídricos, porém possibilitando a emissão de direitos privados desse recurso. De acordo com a referida legislação, os direitos do uso da água podem ser livremente negociados. Assim, o Código de Águas fortalece a propriedade privada e reduz o papel do governo na gestão dos recursos hídricos (BAUER, 2004). A negociação dos direitos de uso da água, no entanto necessita de autorização e registro prévios. De acordo com a lei, a troca dos direitos deveria se dar em termos de vazão, porém, devido às dificuldades de medições, as transações ocorrem com base no percentual da vazão (MOREIRA, 2001). Um dos grandes desafios no mercado de águas no Chile está relacionado aos direitos de uso da água não utilizados. De acordo com Donoso (1999), algumas hidrelétricas possuem grande parte dos direitos de uso que não são utilizados de imediato e também não são vendidos, pois as empresas alegam que podem ser necessários para projetos futuros, podendo ser configurado como um monopólio. Isso se torna um problema de mercado e de alocação de água. Por conta disso, em 2005 foi aprovada uma modificação no Código de Águas do país, por meio da Lei nº 20.017, que permite a cobrança de uma patente anual pelo não uso dos direitos. Riestra (2009) *apud* Valenzuela *et al* (2013) cita que os objetivos dessa patente são: manter a disponibilidade de água para os que precisam utilizá-la, incentivando o uso racional; constituir direitos de uso da água que forem realmente utilizados; e redistribuir os direitos que não estão em uso, incentivando a não acumulação.

Outro exemplo ocorre no estado do Colorado, nos EUA. O mercado de águas começou a se desenvolver em 1959 através do Distrito de Conservação de Água do Norte do Colorado. Esse mecanismo foi utilizado como uma alternativa a uma grande seca que ocorreu na década de 1930, onde a solução foi realizar uma transposição de águas do rio Colorado para atender os agricultores da região. O volume de água transposto foi dividido em licenças, que inicialmente não eram cobradas pelo Distrito. A decisão sobre a quantidade de licenças entre os usuários foi definida pelo próprio Distrito, a partir de cálculos que consideravam a eficiência de uso de cada um deles, buscando gerar o máximo benefício possível. Atualmente, o Distrito cobra uma taxa anual fixa aos proprietários das licenças. As negociações de licenças ocorrem de forma simplificada, similar ao que acontece em agências bancárias: as transferências de créditos são realizadas pelas partes envolvidas e o Distrito fica responsável por conferir as assinaturas das

partes e realizar a transferências das quotas. Ressalta-se que em caso de vendas das licenças, o comprador deve justificar o uso da água de modo que gere o maior benefício possível (SOARES JR, 2002).

Na Espanha, os mercados de água iniciaram em 1999, a partir da reforma da Lei da Água, e foram consolidados no texto de revisão da referida lei denominada “Transferência de direitos para uso privado da água”. De acordo com essa lei, os recursos estão sob domínio público e para uso privado deve-se existir concessão do direito ou autorização administrativa. A maior parte das negociações dos mercados de água ocorreu entre os anos de 2005 e 2008, devido a uma grande seca no país. Em números de transações, o mercado de águas não tem sido muito significativo no país, uma das razões são os altos custos de transações encontrados. Ressalta-se que, em períodos de escassez, os órgãos gestores de recursos hídricos podem limitar a quantidade de água das transferências (HIERRO, *et al*, 2015).

Outras experiências são encontradas na literatura, tais como no estado da Califórnia (DINNAR *et al*, 1997 e HANAK, 2005), no estado do Texas-EUA (Wurbs, 1995), na Austrália (BROOKS e HARRIS, 2008) e na China (MOORE, 2015).

- **Alocação Negociada**

Na alocação negociada, a decisão é tomada pelos próprios usuários, sendo necessária a existência de instituições de ação coletiva com autoridade na decisão sobre os direitos da água. As vantagens da alocação negociada estão relacionadas à flexibilidade de distribuição da água de acordo com a demanda local, viabilidade e sustentabilidade administrativa e aceitabilidade política. Porém, o processo de alocação precisa de uma estrutura muito transparente, que nem sempre está disponível (DINAR *et al*, 1997). A alocação por parte dos usuários torna-se mais eficaz quando todos são beneficiados pelo recurso, quando se trata de interesses particulares de diferentes grupos dentro de uma comunidade pode haver maiores impasses por parte dos usuários.

De acordo com a ANA (2015), a alocação negociada é considerada uma metodologia adequada à gestão dos recursos hídricos no semiárido brasileiro, pois envolve instituições e usuários da água em uma decisão coletiva, formalizando uma negociação social e atendendo ao princípio da gestão participativa e descentralizada previsto na Política Nacional de Recursos Hídricos. A ANA realiza processo de alocação negociada de água em alguns sistemas hídricos brasileiros, tais como os reservatórios Mirorós e Zabumbão na Bahia, o rio Verde Grande nos estados da bahia e Minas Gerais, o açude Epitácio Pessoa na Paraíba, dentre outros.

Devido à necessidade de alocação negociada de água nos reservatórios do semiárido, foram criados arranjos no âmbito de reservatórios ou vales perenizados, com o objetivo de organizar os usuários. Assim foram criadas comissões para realização da alocação negociada das águas desses reservatórios, por exemplo: Comissão Gestora do Açude Lagoa do Arroz, na Paraíba; Comissão Gestora das Águas do Reservatório Bocaína, no Piauí; e Conselhos Gestores de Açudes, em Pernambuco (ANA, 2013a).

No Ceará, a Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH) adota o mecanismo de alocação negociada na operação e alocação de água de açudes. A metodologia utiliza a simulação de esvaziamento dos reservatórios a partir das demandas, e assim, estabelecem cenários da oferta de água. Posteriormente, ocorrem reuniões de planejamento da operação dos reservatórios onde se concretiza a alocação negociada. Essa metodologia tem-se mostrado um avanço para as tomadas de decisão, visto que possibilitam ações e acordos pacíficos, contudo um dos desafios da sua implementação é a não participação de alguns usuários (PINHEIRO *et al*, 2011).

A Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento do Distrito Federal (ADASA/DF) também utiliza o mecanismo de alocação participativa. Na sub-bacia do Ribeirão Extrema, a agência, junto com o apoio da Empresa de Assistência Técnica e Rural do Distrito Federal (EMATER/DF), promove as reuniões de alocação negociada da água entre os irrigantes. A negociação ocorre entre os produtores irrigantes com supervisão do poder público. Alguns dos desafios encontrados na implementação desse mecanismo foram: ausência de equipamentos de medição das vazões captadas pelos usuários; fragilidade do comitê em executar suas atribuições (por exemplo, arbitrar os conflitos de uso da água); ausência de mecanismos de controle; e a falta de disciplina por parte de alguns produtores em respeitar as condições definidas no processo de alocação (MESQUITA *et al*, 2018).

Para Spolidorio (2017), a alocação negociada é uma interessante alternativa para a regulação dos recursos hídricos, porém o autor ressalta que para alcançar seus objetivos, deve-se garantir participação direta dos usuários e da comunidade.

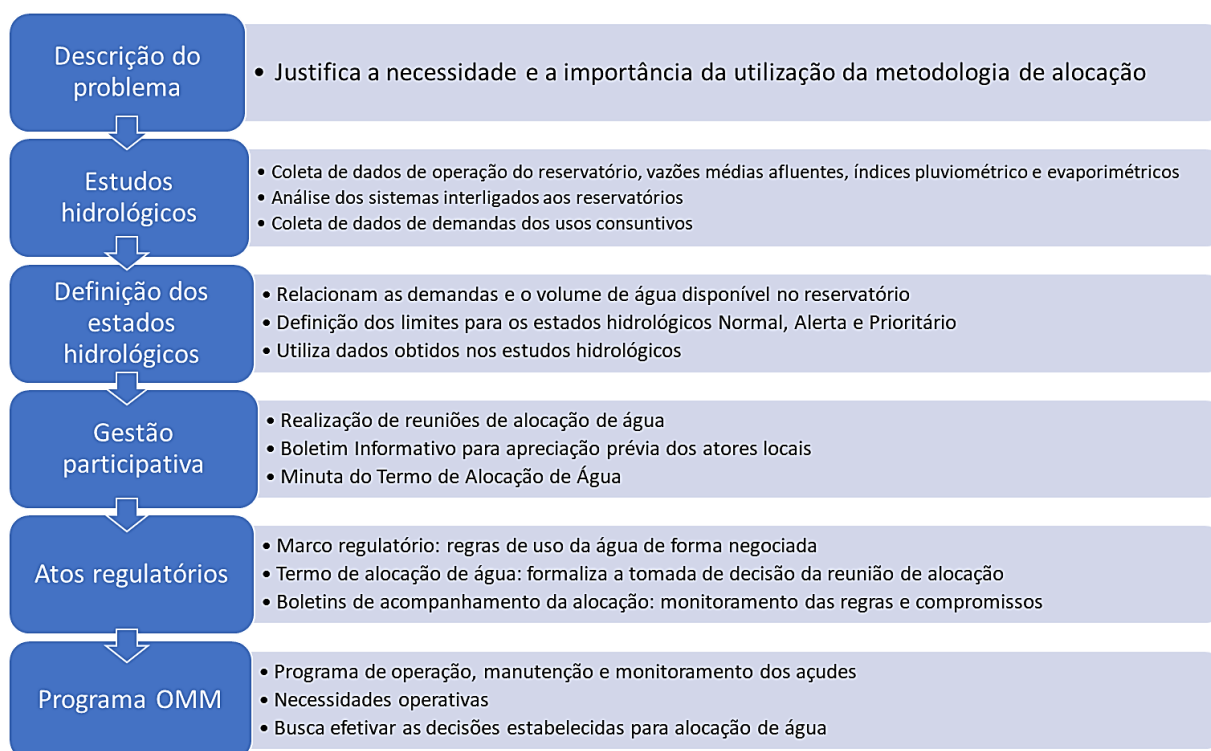
2.1.4. Metodologia da Agência Nacional de Águas para Alocação de Águas em Açudes Isolados

Em 2014, a Agência Nacional de Águas – ANA instituiu a Coordenação de Marcos Regulatórios e Alocação de Água – COMAR, responsável por estabelecer os marcos regulatórios, coordenar os processos de alocação de água em reservatórios, elaborar estudos para gerenciamento dos sistemas hídricos, elaborar proposta de racionamento preventivo dos

recursos hídricos, e elaborar proposta de descentralização da gestão dos reservatórios (ANA, 2015).

A metodologia utilizada atualmente pela ANA para Alocação Água em Açudes isolados utiliza a abordagem da teoria administrativa do PDCA (*Plan-Do-Check-Out*), que corresponde às etapas de Planejamento das ações (P), Execução (D), Monitoramento (C) e Ajustes para operacionalização (A). As etapas da metodologia são apresentadas na Figura 1

Figura 1 - Metodologia de alocação de água em açudes isolados utilizada pela Agência Nacional de Águas



Fonte: Próprio autor com base em ANA (2015).

Nota-se que a metodologia de alocação utilizada pela ANA para açudes isolados baseia-se na negociação entre os usuários através de reuniões de alocação de água. Nessas reuniões são definidas as condições de uso da água pelos usuários através do Marco Regulatório e do Termo de Alocação de Água. Previamente devem ser realizados o diagnóstico do problema, os estudos hidrológicos e a definição dos níveis de alerta da água no reservatório. Posteriormente às reuniões de alocação, inicia-se o monitoramento das regras estabelecidas e manutenção do açude em questão, a fim de melhorar a efetividade das ações.

2.1.5. Alocação de água a partir da análise hidroeconômica

A combinação entre modelos hidrológicos e modelos econômicos pode auxiliar nos processos de decisão de alocação da água. Silva (2017) cita que diferentes estratégias na operação de

reservatórios irão gerar diferentes benefícios econômicos. Sendo assim, modelos hidroeconômicos podem quantificar perdas e ganhos econômicos dos usuários decorrentes de diferentes regras de alocação de água.

De acordo com Figueiredo (2015), uma das dificuldades desse modelo de gestão é estabelecer o valor econômico da água. Segundo Harou *et al* (2009), considerar que o valor econômico e os custos de obtenção da água variam com a quantidade demandada é o conceito chave para promover a eficiência da alocação da água. Esse conceito é representado pela curva de demanda, que apresenta a variação do preço que o usuário está disposto a pagar a partir da quantidade de água.

Sendo assim, a utilização de modelos hidroeconômicos no processo de tomada de decisão da água é necessária para identificar as curvas de demanda dos diferentes usuários da água. Os capítulos seguintes irão discutir com mais detalhes as curvas de demanda de água e aplicações de modelos hidroeconômicos para alocação de água.

2.2. CURVAS DE DEMANDA DA ÁGUA

No passado, os estudos sobre a demanda da água desprezavam os parâmetros preço e disponibilidade de orçamento do consumidor como essenciais para a determinação da demanda. Posteriormente, a demanda da água passou a ser compreendida como um modelo de demanda econômica. A partir do momento em que ocorrem balanços hídricos desconfortáveis, a água passa a ser um bem escasso e considerada então como um bem econômico (FOSTER, 1979; CARRERA-FERNANDEZ & GARRIDO, 2002).

A demanda mensura a quantidade de consumidores interessados em adquirir um determinado bem ou serviço. De modo geral, os bens negociáveis no mercado apresentam um preço do qual o consumidor se utiliza como parâmetro para avaliar se será beneficiado com a sua aquisição. Em situações de baixo preço de um determinado produto, a tendência é de um alto índice de venda do mesmo, até um limite no qual o produto não seja mais satisfatório para os consumidores. Quando o preço do mesmo bem aumenta, torna-se difícil sua aquisição, pois alguns consumidores estarão limitados financeiramente, sendo assim a demanda diminui (WHELAN & MSEFER, 1996).

A precificação da água é uma ação primordial no estudo do gerenciamento da sua demanda e no controle da sua escassez. A tarefa não é simples, visto que a água bruta é um recurso natural não negociável no mercado. O fato de que a água não é precificada através de fatores mercadológicos apresenta como consequência a carência de dados estatísticos que possibilitem

o estabelecimento de um valor por metro cúbico o qual os usuários estariam dispostos a pagar (GRIFFIN, 2006; CARRERA-FERNANDEZ & GARRIDO, 2002).

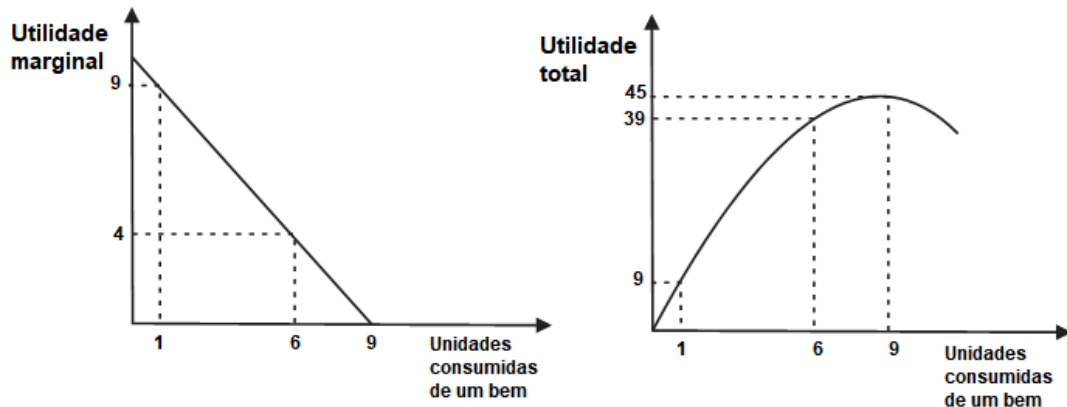
A análise da curva de demanda pode ser realizada através da identificação dos benefícios marginais. Define-se benefício marginal como o benefício obtido pelo consumidor ao adquirir uma unidade adicional de um bem. No caso de bens públicos, o benefício marginal é a soma dos valores que cada usuário está disposto a pagar ao usufruir o bem (PINDYCK E RUBINFELD, 2013). O benefício marginal é o preço obtido na curva de demanda e também pode ser chamado de receita marginal ou utilidade marginal.

O economista Carl Menger (1840-1921) explicou que a demanda por bens de consumo estava relacionada à utilidade marginal de forma inversamente proporcional. Isto significa que quando o bem apresenta um preço mais alto do que a sua utilidade marginal, o consumidor tende a não gastar dinheiro na compra do bem. No entanto, quando o preço diminui, um maior número de consumidores acredita que a utilidade marginal da compra é maior do que o benefício que eles teriam em não gastar o dinheiro. Sendo assim, Menger explica o princípio da Utilidade Marginal Decrescente, e ainda deduz a Lei da Demanda, quando afirma que a quantidade demandada e o preço de um bem são inversamente proporcionais (HUNT E LAUTZENHEISER, 2013). Os consumidores visam, nas negociações, obter o máximo de satisfação possível com a compra. Essa satisfação, definida como utilidade marginal, é inversamente proporcional à disponibilidade (oferta) do bem (HACKETT, 1960).

Sendo assim, à medida que se consome uma maior quantidade de um bem, as quantidades adicionais irão gerar uma utilidade cada vez menor. Tomando como exemplo um programa de televisão: a utilidade marginal da primeira hora em que se assiste é maior que a segunda ou terceira, e pode se tornar muito pequena na quarta ou quinta hora do programa (PINDYCK E RUBINFELD, 2013). Relacionando com os recursos hídricos, tem-se que o uso da água reflete uma utilidade maior nos primeiros volumes consumidos, todavia, à medida que se aumenta a quantidade, sua utilidade diminui, podendo levar até ao desperdício.

Ressalta-se a importância da distinção entre o benefício marginal e o benefício total. Hunt e Lautzenheiser (2013) apresentam graficamente a relação entre esses dois conceitos, como é mostrado na Figura 2. Na medida em que se aumenta a quantidade consumida de um bem, a utilidade marginal decresce, entretanto, o comportamento da curva de utilidade total é diferente, ela é crescente até o ponto em que a utilidade marginal é igual a zero, ponto em que a utilidade total é maximizada.

Figura 2- Curvas de utilidade marginal e utilidade total



Fonte: Adaptado de Hunt e Lautzenheiser (2013).

2.2.1. Elasticidade-preço da demanda

A sensibilidade da curva de demanda é mensurada através do conceito de elasticidade-preço da demanda, que é o parâmetro comparativo (dado em percentual) do impacto da variação da demanda no preço de um bem ou produto. Assim sendo, a elasticidade-preço da demanda mede a variação relativa na quantidade demandada para determinada variação relativa no preço (GRIFFIN, 2006), sendo obtida por:

$$\epsilon = \frac{\frac{\Delta w}{w}}{\frac{\Delta p}{p}} \quad (1)$$

Onde: w é a demanda, e p é o preço do bem.

Na Equação 1, ϵ representa a elasticidade no ponto médio, sendo possível estabelecer seu valor pontual, através da sua derivada parcial:

$$\epsilon = \frac{\frac{dw}{dp} \cdot p}{w} \quad (2)$$

É possível evidenciar através das Equações 1 e 2 que a elasticidade aumenta de acordo com a variação relativa da demanda em relação à variação relativa do preço, ou seja, quanto maior a variação relativa da demanda dos usuários em relação à variação relativa do preço de um bem ou produto, maior será a elasticidade. A elasticidade é nula quando não há variação da demanda em relação à variação do preço.

Segundo Parkin (2014), a elasticidade pode ser estruturada em diferentes categorias (Quadro 1). A utilização das categorias auxilia na tomada de decisão, sendo parâmetro essencial para a visualização da sensibilidade da curva elasticidade preço demanda.

Quadro 1 - Categorias da elasticidade-preço da demanda

| Categorias | Elasticidade | Classificação | Características |
|-------------------|---------------------------|----------------------------------|--|
| 1 | $ \epsilon = \infty$ | Demanda Perfeitamente elástica | Pequenas variações no preço geram variações infinitamente grandes na demanda |
| 2 | $1 < \epsilon < \infty$ | Demanda Elástica | Varição percentual do preço gera maior variação na demanda |
| 3 | $ \epsilon = 1$ | Demanda Elástica Unitária | Varição percentual do preço gera a mesma variação percentual na demanda |
| 4 | $0 < \epsilon < 1$ | Demanda Inelástica | Varição percentual do preço gera menor variação da demanda |
| 5 | $ \epsilon = 0$ | Demanda Perfeitamente Inelástica | Varição do preço se mantém constante com a variação da demanda |

Fonte: Próprio autor com base em Parkin (2014).

É necessário considerar que o sinal referente à elasticidade-preço da demanda é geralmente negativo, uma vez que as curvas de demanda apresentam inclinação negativa. Entretanto, pode-se tornar fadigoso utilizar sempre sinais negativos nas análises, sendo assim, por vezes, a literatura considera, por comodidade, o módulo da elasticidade (sempre positivo), como foi possível identificar na Quadro 1. Ao realizar a plotagem do gráfico é importante se atentar em apresentar os sinais negativos (VARIAN, 2015).

Vale ressaltar que existem bens que apresentam elasticidade-preço da demanda positiva, sendo chamados de Bens de Giffen. De acordo com Carrera-Fernandez (2001), o bem de Giffen é uma classe especial e apresenta demanda positivamente inclinada, contudo a curva de demanda de mercado apresenta sempre inclinação negativa. Isso porque, mesmo que uma curva de demanda individual se comporte como um bem de Giffen, quando as demandas são agregadas, as demandas com inclinação negativa superam as demandas positivamente inclinadas. Ressalta-se ainda que apenas em situações extremamente anômalas, a água poderá ser enquadrada nessa categoria.

De acordo com Parkin (2014), são três os fatores que influenciam a elasticidade de demanda:

- 1- Proximidade dos substitutos: Os bens que podem ser facilmente substituídos apresentam demanda elástica, por exemplo, itens de luxo ou outros produtos supérfluos. Bens insubstituíveis e/ou necessários, geralmente, apresentam demanda inelástica.
- 2- Proporção de renda gasta no bem: O bem que mais impacta no orçamento comumente apresenta demanda mais elástica. Isso se deve ao fato de que o consumidor sente maior impacto quando ocorre a mudança de preço em um produto de maior valor de mercado. O autor exemplifica que o aumento no preço do chiclete é menos perceptível para o consumidor do que o aumento do aluguel.

3- Tempo decorrido desde a última mudança de preço: Quanto maior o tempo decorrido desde a última mudança de preço maior será a elasticidade da demanda. A mudança de preços em um curto prazo não tem grande impacto para o consumidor quando comparada com a mudança de longo prazo.

Nota-se que a água apresenta, comumente, demanda inelástica. Dado que a água é um recurso de grande valor para o usuário, seu uso será necessário mesmo com grandes variações no preço. É possível identificar também que para usuários com maior renda, a demanda é mais inelástica, uma vez que a variação do preço da água tem menor impacto no seu orçamento.

A elasticidade da demanda tem se mostrado uma importante ferramenta na análise dos benefícios gerados pela utilização dos recursos hídricos. Bhatia *et al* (1995) analisaram experiências sobre conservação e alocação da água, considerando a elasticidade-preço da demanda como um importante fator para o uso de água. Os autores apresentaram algumas estimativas de elasticidade-preço da demanda para o abastecimento doméstico obtidos em estudos anteriores, que variaram de -0,29 a -0,68. Para alguns países em desenvolvimento, a elasticidade-preço da demanda variou de -0,37 a -0,597, estimadas por Gomez (1987) *apud* Bhatia *et al* (1995), sendo que para o Brasil estimou-se o valor de -0,597.

Espey *et al* (1997) utilizaram o método da meta-análise para estudar a elasticidade-preço da demanda residencial de água. De acordo com Luiz (2002), a meta-análise é um método que utiliza abordagens estatísticas para sintetizar conclusões ou obter uma nova conclusão a partir de trabalhos preexistentes. Em Espey *et al* (1997), foi utilizada uma amostra de 124 elasticidades-preço estimadas em 24 artigos de 1967 a 1993 e foi obtida uma média de -0,51, sendo que 90% das estimativas estavam entre -0,75 e 0.

Dalhuisen *et al* (2003) também realizaram uma meta-análise para avaliar o impacto da variação do preço no uso de água dos usuários residenciais. Foi utilizada uma amostra de 64 estudos de 1963 a 2001, compreendendo 296 estimativas de elasticidades-preço, com uma média de -0,41.

Howitt *et al* (1980) estimaram as elasticidades-preços da demanda de água para irrigação utilizando dados da principal região agrícola do estado da Califórnia: o Vale Central. Observou-se que para culturas com preços de mercado maiores, a elasticidade-preço da demanda foi menor do que para culturas com preços mais baixos. Os valores obtidos foram -0,46 e -1,5, respectivamente.

Scheierling *et al* (2006) desenvolveu uma pesquisa para analisar as fontes responsáveis pela variação da elasticidade-preço da demanda de água para irrigação nos Estados Unidos. O

trabalho foi baseado em uma amostra de aproximadamente 24 estudos que utilizam método de programação matemática positiva, experimentos de campo e estudos econométricos. Foram analisadas 73 estimativas de elasticidade-preço da demanda, obtendo uma média de -0,48. Os autores notaram que estudos de programação apresentam resultados mais elásticos do que estudos econométricos; que o preço da água para irrigação tem forte impacto na elasticidade; e que a baixa percepção de valor dos recursos hídricos por parte dos agricultores se deve ao seu preço relativamente baixo.

Schoengold *et al* (2006) estimaram a elasticidade-preço da demanda para a irrigação utilizando um conjunto de dados do Vale de San Joaquin, também na Califórnia. O valor estimado para a elasticidade foi de -0,79. Os autores afirmam que o resultado encontrado foi maior que os obtidos em estudos anteriores.

Wheeler *et al* (2008) utilizaram análises de regressão de modelos não lineares para identificar a variação da demanda a partir do preço da água para irrigação no Distrito de Irrigação Goulburn-Murray, na Austrália. Os autores estimaram as elasticidades-preço da demanda em curto e longo prazo, resultando em -0,51 e -0,82, respectivamente.

Zuo *et al* (2015) estimaram a elasticidade-preço da demanda de água para irrigação com base em preferências declaradas por irrigantes individuais. De acordo com os autores, estudos já realizados na Austrália estimaram valores entre -0,52 e -1,9, no entanto os autores obtiveram uma elasticidade-preço estimada em -0,57.

Considerando os estudos brasileiros para cobrança pelo uso da água, diversos autores utilizaram o método da demanda “tudo ou nada” para estimar a elasticidade-preço da demanda nos diferentes usos da água. Carrera-Fernandez e Garrido (2002) estimaram a elasticidade-preço dos usos de água na bacia hidrográfica do Rio Pirapama, no estado do Pernambuco, sendo obtidos os valores -0,13 e -0,94 para os usuários do abastecimento humano e da irrigação, respectivamente. Considerando como área de estudo a sub-bacia do rio Salgado, no estado do Ceará, Viana (2011) estimou valor semelhante para a elasticidade-preço de demanda para o uso do abastecimento humano, -0,11.

Cordeiro (2003), no entanto, observou um comportamento diferente para os usuários de um grupo de bacias de rios litorâneos na Zona da Mata Norte do estado de Pernambuco. Utilizando a função de demanda “tudo ou nada”, o autor estimou as elasticidades-preço da demanda (em valor absoluto) de 0,0017 para o abastecimento humano, e 1,4169 para a irrigação.

Posteriormente, Garrido (2018) analisou o comportamento das demandas dos usuários no conjunto das bacias do Paraíba do Sul e do Guandu. O autor estimou para o abastecimento humano, elasticidade-preço da demanda igual -0,16 no período de 2003 a 2007, e -0,17 para o período de 2008 a 2012. Para a irrigação os resultados foram -0,86 e -0,85, nos quinquênios 2003-2007 e 2008-2012, respectivamente.

Carrera-Fernandez e Garrido (2002) apresentam, ainda, as elasticidades-preço da demanda nas bacias hidrográficas do estado da Bahia, obtidas através da metodologia da demanda “tudo ou nada”, para os diferentes tipos de usuários. Os valores foram estimados por Carrera-Fernandez, em estudos de cobrança pelo uso da água nos anos de 1996 e 1997. Observou-se uma grande variação dos valores obtidos, mesmo em bacias hidrográficas localizadas em um mesmo estado, destacando-se assim a importância da determinação da elasticidade-preço da demanda de acordo com as condições locais. A Tabela 1 apresenta os valores para os usuários do abastecimento humano e da irrigação.

Tabela 1 – Elasticidades-preço da demanda nas bacias hidrográficas do estado da Bahia

| Bacia hidrográfica | Elasticidade-preço da demanda para o abastecimento humano | Elasticidade-preço da demanda para a irrigação |
|-----------------------------|---|--|
| Verde-Jacaré | -0,86 | -0,17 |
| Alto Grande | -0,26 | -0,02 |
| Corrente | -0,26 | -0,19 |
| Contas | -0,27 | -0,14 |
| Salitre | -0,82 | -0,74 |
| Me/Bx Grande/ ME. do Lago | -0,26 | -0,88 |
| MD do SM São Francisco | -0,27 | -0,93 |
| Paramirim | -0,26 | -0,02 |
| Médio e Baixo Paraguaçu | -0,27 | -0,57 |
| Recôncavo Norte e Inhambupe | -0,27 | -0,77 |
| Recôncavo Sul | -0,27 | -0,43 |
| Alto Paraguaçu | -0,04 | -0,39 |
| Itapicuru | -0,99 | -0,58 |

Fonte: Adaptado de ‘Carrera-Fernandez (1996 e 1997) *apud* Carrera-Fernandes e Garrido (2002)’.

Ressalta-se ainda que a elasticidade-preço da demanda varia com outros fatores variáveis ao longo do tempo, como por exemplo, a renda dos usuários. Sendo assim, valores encontrados em estudos anteriores podem não representar o comportamento atual da demanda dos usuários.

2.2.2. Métodos para obtenção da Curva de Demanda

De acordo com Griffin (2006), devido às várias complicações, a demanda de água não pode ser totalmente conhecida, entretanto, é possível estimá-la, desde que os métodos corretos sejam seguidos. O conhecimento de diferentes alternativas de métodos possibilita a escolha do melhor destes, de acordo com as características da área de estudo, categoria do usuário e

disponibilidade de dados, além de permitir a possibilidade de comparação de métodos. O Quadro 2 apresenta métodos que tornam possível a estimativa completa da função de demanda da água.

Quadro 2 - Métodos para obtenção da Curva de Demanda da água

| Técnica | Características | Tipo de entrada de dados | Principais categorias de aplicação |
|---------------------------------|--|---|--|
| Expansão do ponto | O método de expansão do ponto utiliza uma elasticidade obtida externamente e um ponto da função de demanda, previamente conhecido, para estimar a função. Esse método considera que a função de demanda possui uma elasticidade constante. | Um ponto (quantidade da água, preço) da função demanda e elasticidade exógena | Útil para todas as categorias, mas é necessário outro método para determinação da elasticidade |
| Programação matemática | Abordagem de otimização computadorizada. É necessário dedicar um tempo para determinação do melhor software | Produto, preços e orçamentos | Grandes volumes de água para produção, principalmente irrigação e indústria |
| Função de produção | Considera um sistema de produção, o valor da água é estimado a partir de seus benefícios como fator de produção. Ideal para utilização de maior número de dados de entrada. | Dados experimentais ou relação física | Energia hidrelétrica, irrigação, processos de fabricação individual |
| Regressão estatística | Organiza os dados necessários e aplica procedimentos de regressão estatística para estimar os coeficientes da função. É uma técnica mais assertiva para usos domésticos. | Comportamento sob preços administrados, transações de mercado, metadados | Urbano/residencial, industrial/comercial |
| Avaliação contingente | É um método de avaliação hipotética, em que pede-se aos agentes que forneçam detalhes sobre sua disposição a pagar. É uma técnica custosa e pode apresentar resultados não tão precisos, visto que os usuários podem não revelar sua real disposição a pagar. | Entrevista com consumidores que revelam sua disposição a pagar pelo bem | Urbano/residencial, recreação |
| Demanda por água “tudo ou nada” | A função de demanda “tudo ou nada” revela o preço de reserva, ou seja, o máximo valor que os usuários estariam dispostos a pagar pelo bem. Uma das vantagens desse método é que sua aplicação não exige altos custos com pesquisas de campo. Além disso, a elasticidade-preço da demanda é desvendada pelo método. | Dois pares de pontos que revelam preços de reserva do bem | Abastecimento humano, indústria, irrigação, geração de energia elétrica, diluição de efluentes |

Fonte: Próprio autor com base em Griffin (2006) e Carrera-Fernandez & Garrido (2002).

2.2.3. Aplicações para curva de demanda da água no processo de alocação de água

O rápido crescimento populacional urbano no Brasil gerou um aumento considerável na demanda de recursos hídricos, entretanto as tecnologias produtivas de algumas empresas não foram eficientes no atendimento da oferta dos usuários, reduzindo volume e qualidade das fontes de água (MATTOS, 1998). Devido a essa discrepância entre oferta e demanda, tornam-se necessários estudos que possibilitem um melhor gerenciamento da demanda de água no país. Diversos autores têm utilizado a economia para analisar a demanda pela água.

Carramaschi *et al* (2000) avaliaram o comportamento da demanda por recursos hídricos para irrigação na região de influência da bacia hidrográfica do córrego da Rocinha (lago Descoberto, no Distrito Federal). Os autores utilizaram dois métodos para avaliação da demanda: o método da valoração contingente, que estima a disposição a pagar (DAP) do usuário através da aplicação de questionários; e o método da função de produção, que aborda a água como fator de produção, buscando relacionar a quantidade de água com variações na produção. Foi estabelecida a relação entre custos e receitas de acordo com o tipo de produtor e método de irrigação. Os autores identificaram que valorar os recursos hídricos apenas pela perspectiva do usuário pode ser uma estratégia frágil, visto que os usuários tendem a minimizar a sua disposição a pagar, principalmente em determinadas categorias de uso, como os produtores rurais. Observaram ainda que o método da função de produção obteve melhores resultados, todavia, o mesmo considera apenas o valor de disposição a pagar pelo uso, e não os valores de opção e existência, o que incorre na subestimação do valor da água quando os valores de opção e existência são positivos.

Silva *et al* (2015) realizaram estudos na região do Submédio São Francisco visando a obtenção de curvas de demanda para identificação do valor dado aos recursos hídricos para usuários agrícolas e domésticos. Utilizou-se o método de programação matemática positiva (PMP) para os perímetros irrigados. E ainda, o método de expansão de ponto para a irrigação difusa, considerando a elasticidade-preço de -0,48, e para o abastecimento dos municípios ao longo do rio São Francisco, considerando a elasticidade de -0,46. As elasticidades foram consideradas com base na literatura. Os autores ressaltam que estudos como esse são necessários para validar os parâmetros necessários na aplicação de modelos hidroeconômicos. Eles concluíram que os dois métodos apresentaram similaridades na ordem de grandeza dos resultados. No entanto, apesar de o método de expansão do ponto ser mais simples que o PMP, ressaltam as limitações do mesmo, tais como a utilização do custo médio no ponto atual de operação como um substituto do custo marginal, e o uso da elasticidade-preço constante. Por utilizar elasticidade-preço variável, o método da programação matemática pode conferir maior consistência aos resultados.

Figueiredo e Moraes (2015) estimaram curvas de demanda da água para perímetros irrigados no Submédio São Francisco, através do método de programação matemática positiva em três estágios. Foram analisados diferentes cenários, avaliando custos de escassez e impactos na demanda de recursos hídricos. Foi utilizada a elasticidade de substituição constante de 0,4 para calibração do modelo. De acordo com Figueiredo (2015), estudos realizados anteriormente por

Maneta *et al* (2009a) e Torres *et al* (2012) utilizaram valores de 0,25 a 0,80 e houve pouca variação nos resultados finais. A partir dos resultados, o autor identificou que a escassez de água gera altos custos para os usuários, impactando na renda gerada e que, para menores valores de elasticidade, maiores são os custos devido à escassez.

Livele e Silveira (2015) avaliaram os benefícios econômicos gerados pela satisfação da demanda hídrica e os prejuízos financeiros da sua escassez para usuários agrícolas da parte moçambicana da Bacia do Limpopo, envolvendo perímetro irrigado, associações e empresas privadas que exploram a atividade agrícola. As curvas de demanda foram obtidas por meio do método de expansão de ponto. Os autores utilizaram valor de elasticidade obtido na literatura, que representa um comportamento similar dos usuários da área de estudo, sendo estimada por Walter *et al* (2011) em -0,19. A partir da estimativa das curvas, os autores mostraram que os agricultores possuem disposição a pagar muito baixa para preços muito altos, o que obriga aos mesmos a reduzirem seu uso. No entanto, os autores mencionam ainda que o método da expansão do ponto pode ser pouco confiável quando as estimativas se distanciam do ponto real da expansão da curva.

2.3. MODELOS HIDROECONÔMICOS

Modelos hidroeconômicos são ferramentas para avaliação do gerenciamento dos recursos hídricos através dos valores econômicos gerados por estes, representando todas as partes hidrológicas e de engenharia do sistema. Ambos os parâmetros são relacionados através de redes de nós e links, abordando recursos econômicos e físicos de forma integrada (HAROU *et al*, 2009).

Em diversos estudos, a depender dos pesquisadores e das questões estudadas, predomina-se uma componente, hidrológica ou econômica. Estudos hidrológicos apresentam abordagens abrangentes de controle do sistema e de aspectos de hidrologia, enquanto trabalhos econômicos abordam análises de entrada/saída e otimização de benefícios líquidos, sem consideração de modelagem hidrológica abrangente. Contudo, estudos de modelagens mais recentes reconhecem a importância de se adotar as abordagens integradas (MCKINNEY *et al*, 1999).

Os modelos hidroeconômicos operacionalizam a análise econômica dos recursos hídricos, possibilitando a integração dos conceitos econômicos com os métodos tradicionais de gestão dos recursos hídricos. Utilizando a modelagem hidroeconômica, a alocação de água é realizada com base em variações no valor econômico da água, revelando oportunidades para um melhor gerenciamento dos recursos. Apesar de apresentar grande complexidade, esses modelos

forneem uma ampla gama de informações que irão subsidiar o processo de tomada de decisão (KIMAITE, 2011).

MacEwan *et al* (2017) também defendem a utilização dos modelos hidroeconômicos, afirmando que esse tipo de modelagem permite a análise das restrições físicas do sistema hídrico e da complexidade das decisões econômicas dos usuários. Em outras palavras, a alocação de água é guiada pela maximização dos benefícios econômicos, mas sujeita às restrições hidrológicas e às regras de operação do sistema. Trata-se, pois, de um problema de otimização condicionada.

Andrade (2006) utilizou a combinação de técnicas de otimização e de simulação para subsidiar a decisão ótima de alocação de água em um sistema de recursos hídricos, localizado na bacia do rio Capibaribe, no estado do Pernambuco, formado por cinco reservatórios e envolvendo usos da irrigação (perímetros irrigados), abastecimento humano e piscicultura. O modelo de otimização utilizado foi o ORNAP (Optimal Reservoir Network Analysis Program), desenvolvido em Matlab, que tem como objetivo maximizar benefícios ou objetivos múltiplos relacionados aos diversos usos da água, através de técnicas de programação não linear. O autor utilizou os custos e preços médios de venda para estimar a receita líquida da agricultura irrigada e da piscicultura. O ORNAP alocou as áreas irrigadas priorizando culturas que oferecem maior retorno financeiro. Observou-se que a piscicultura possui rentabilidade menor que a agricultura irrigada. Andrade (2006) aplicou o indicador de sustentabilidade associado à receita líquida, estimando o benefício econômico provável de cada cenário, considerando os riscos e incertezas hidrometeorológicas. O autor concluiu que para maior efetividade nos resultados é interessante utilizar critérios de desempenho do sistema de forma conjunta com fatores econômicos, sociais e ambientais.

Moraes *et al* (2006) aplicaram um modelo econômico-hidrológico integrado com o objetivo de apoiar melhorias na gestão de recursos hídricos na bacia do rio Pirapama no Estado de Pernambuco, considerando os usos de abastecimento humano, agroindústria, geração de energia e fertirrigação. A abordagem utiliza o *General Algebraic Modeling System (GAMS)*, *software* de alto nível que utiliza programação não linear. A função objetivo busca maximizar o benefício social líquido. Os autores utilizaram a expansão da curva de demanda a partir de um ponto de operação de cada usuário, considerando o valor da elasticidade-preço constante. Foram ainda incorporadas restrições de qualidade da água ao modelo. Os resultados demonstraram a lógica da distribuição de acordo com o benefício econômico, sendo que os usuários cujos benefícios líquidos encontrados foram menores não foram atendidos com seu valor total de pleito de

outorga. Utilizando essa ferramenta, foi possível mensurar os custos das restrições na alocação de água, sejam elas quantitativas ou qualitativas. Os autores recomendaram possível inclusão de pesos na função objetivo que reflitam as prioridades entre os usos, visto que a Política Nacional de Recursos Hídricos estabelece como usos prioritários o abastecimento humano e a dessedentação animal.

Torres *et al* (2014) desenvolveram um modelo hidroeconômico para quantificar impactos de curto prazo na renda regional agrícola devido a mudanças na disponibilidade de recursos hídricos na região da sub-bacia hidrográfica do rio Buriti Vermelho. As curvas de demanda foram obtidas através do método de programação matemática positiva, apresentando funções categorizadas por cultura e por produtor rural. Para estimativas de vazão do rio e dos canais de irrigação, foi utilizado um modelo hidrológico de naturalização de vazões ligado a um modelo de balanço de água no solo. Os dados dos modelos econômico e hidrológico são interligados para obtenção de resultados. Concluiu-se que os impactos da escassez hídrica são maiores para agricultores de cultura sequeira, mas também afetam agricultores de cultura irrigada, visto que, nos períodos secos, o volume de água nos reservatórios pode não ser suficiente para atender a toda a demanda da irrigação. Os resultados podem ter sido subestimados uma vez que a análise econômica não considerou os impactos diretos da ausência de chuvas sobre a produtividade agrícola, avaliando apenas as questões relacionadas diretamente com o volume de água do reservatório disponível para a irrigação.

Davidson *et al* (2015) abordaram um modelo de otimização hidroeconômica com o objetivo de orientar o gerenciamento de águas para múltiplos usos em uma bacia hidrográfica chinesa, a do rio Zyia. É utilizado um modelo desenvolvido em Matlab para obter uma estratégia eficiente economicamente, respeitando as restrições de quantidade e qualidade da água. O autor concluiu que o modelo contribui para a solução de problemas complexos de alocação de água e possui potencialidade como suporte à decisão.

Silva e Moraes (2018) estudaram a alocação ótima de água para o trecho sub-médio da bacia do rio São Francisco através de modelo hidroeconômico desenvolvido no GAMS, envolvendo os usos da irrigação, abastecimento humano, geração de energia hidrelétrica e demanda ambiental. Os autores mostraram que os custos de escassez para a irrigação geralmente sofreram maior aumento do que para os outros usos. Citam ainda que as regras operacionais dos reservatórios e as restrições institucionais, por exemplo a prioridade de uso para o consumo humano, oferecem grande impacto econômico nos usos da bacia. Por fim, concluíram que as políticas de gestão de recursos hídricos devem considerar onexo alimento-água-energia-

ambiente a fim de atenuar os impactos ambientais e econômicos causados pela escassez de água.

Kahil *et al* (2018) apresentaram o modelo hidroeconômico *Extended Continental-scale Hydroeconomic Optimization (ECHO) model*, no qual é realizada análise de otimização de baixo para cima, através de decisões operacionais e opções de gerenciamento de águas em um grande número de sub-bacias. Através do *ECHO model* é possível combinar diferentes componentes na análise, como hidrologia, agricultura, energia e economia. Esse estudo de caso foi desenvolvido na África, utilizando demandas setoriais, relações entre sistemas de energia e agricultura e cenários socioeconômicos e climáticos. Os resultados mostraram a capacidade do ECHO de abordar questões relacionadas ao suprimento sustentável de água e os impactos da gestão da água nos setores de alimentos e energia.

Baltar (2001) desenvolveu um sistema de apoio a decisão para análise integrada da alocação de água na bacia do rio Descoberto, com base no ModSimP32, modelo de simulação de sistemas hídricos elaborado pelo Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões (LABSID) da Universidade de São Paulo. O sistema de apoio à decisão, denominado ModSimP32-E, realiza a avaliação econômica da alocação de água a partir da inserção de curvas de benefício marginal associadas às demandas dos usuários. Foram utilizadas curvas de demandas obtidas em estudos anteriores. No caso do abastecimento humano, utilizou-se a curva de demanda estimada no estudo de viabilidade econômica do Programa de Saneamento Básico do Distrito Federal, através do método de valoração contingente. Para o uso de irrigação, utilizou-se a curva de ganho líquido agregado estimada por Carramaschi (2000), através de métodos de avaliação contingente e de função de produção. Baltar (2001) conclui que o ModSimP32-E é uma ferramenta de grande utilidade para a análise econômica nas tomadas de decisões, sendo um sistema indicado para análise econômica de longo prazo, tais como ampliação da oferta (como a construção ou ampliação de reservatórios), investimento em infraestrutura de adução, regras gerais de operação de reservatórios no longo prazo, gerenciamento da demanda e mecanismos de alocação da água (outorga de direitos de uso e cobrança pelo uso da água). No entanto, explica que o sistema pode, futuramente, incorporar recursos para análise econômica em curto prazo, como operação de reservatórios em situações críticas ou regras de racionamento. Dentre as recomendações finais o autor cita a introdução de uma rotina de otimização que leve em consideração as consequências do déficit hídrico na produtividade agrícola, e a realização de estudo para determinar curvas de benefício marginal do uso da água bruta adequadas à área de estudo.

Brigagão (2006) realizou um estudo de aperfeiçoamento do ModsimP32-E, módulo de análise econômica da alocação de água do AcquaNet, utilizando também como área de estudo a bacia do lago Descoberto. O autor propôs a inclusão no Acquanet de interfaces computacionais, que desenvolveu ao longo da pesquisa, com o objetivo de avaliar o impacto financeiro e econômico associados a uma tomada de decisão. O autor aponta sobre a potencialidade de utilizar essa abordagem. No entanto, ressalta que para auxiliar uma decisão real, é necessário levantar uma série de dados e determinar diversos coeficientes, o que implica em maior dificuldade no estudo, mas justificável para bacias com importantes conflitos pelo uso da água.

Machado e Cordeiro Netto (2010), utilizaram o módulo de análise econômica de água do AcquaNet para avaliar a alocação de água entre os usos de irrigação e hidroeletricidade, e assim contribuir com a regulação e planejamento dos recursos hídricos. Os autores testaram três cenários com curvas de demandas diferentes para os usos estudados de acordo com o ciclo das culturas e com a existência de diferentes usinas hidroelétricas. Foi possível identificar que os benefícios e/ou prejuízos aos usuários apresentaram grandes variações a depender da curva de demanda escolhida. Esse estudo evidencia mais uma vez a relevância da valorização dos recursos hídricos, contudo os autores ressaltam que deve-se realizar uma análise criteriosa dos dados econômicos relacionados ao uso da água, a fim de representar a realidade econômica. Os autores recomendam ainda que análises futuras sejam realizadas com uma abordagem mais robusta, a fim de incorporar as externalidades relacionadas aos usos, ou seja, os impactos ambientais e sociais causados por essas atividades econômicas.

Vichete e Mello Jr. (2019), utilizaram o AcquaNet para comparar a alocação de água por prioridade de atendimento e por modelagem hidroeconômica. Os resultados mostraram melhor distribuição das vazões despachadas no cenário em que se consideraram os dados econômicos, visto que a alocação é realizada com base na maximização dos benefícios refletidos na curva de demanda da água. Os autores afirmam que esse tipo de modelagem pode auxiliar na análise de políticas públicas, como outorga e cobrança pelo uso da água. Contudo, ressaltam a limitação de utilizar a elasticidade constante na estimativa das curvas de demandas, uma vez que o comportamento representado pode não ser o real comportamento do consumidor, ou seja, os valores do uso da água podem ser superestimados ou subestimados em pontos diferentes do ponto da atual demanda. Como recomendação para estudos futuros, citam a utilização de curvas de demanda variando de acordo com o nível de água do reservatório, ou nível de escassez de água, isto é, utilizar curvas de demanda para cada faixa de operação do sistema (estado hidrológico). Dessa forma, poderia ser proposta uma forma de cobrança pelo uso da água em

que as externalidades ambientais seriam incorporadas ao preço através do custo de escassez da água que, devido às alterações hidrológicas, causam impactos tanto na quantidade como na qualidade da água.

Portanto, observa-se que a abordagem hidroeconômica tem ganhado espaço nos estudos de alocação de água e operação dos sistemas hídricos; relacionando os aspectos naturais (características hidrológicas) e humanos (decisões econômicas), é possível mensurar os impactos econômicos das alternativas de gestão de recursos hídricos. Marques *et al* (2006) ressaltam que essa abordagem pode ser muito útil como subsídio à tomada de decisão em regiões com conflitos de uso da água.

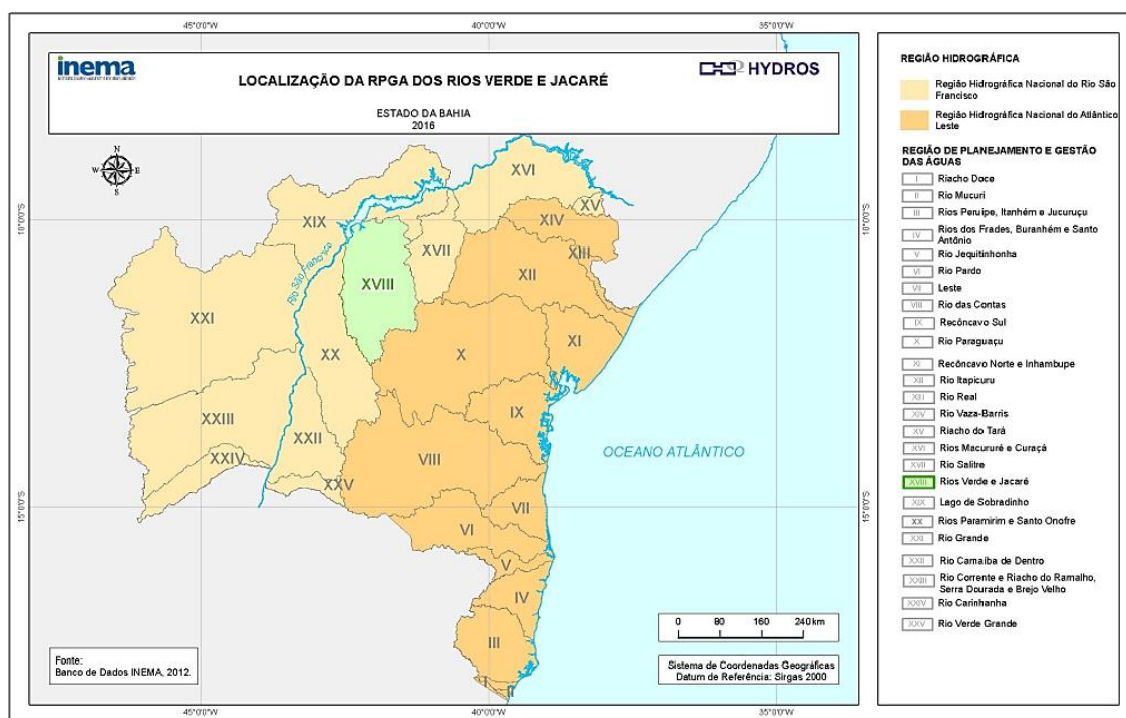
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O presente trabalho tem como objeto de estudo o Reservatório Mirorós, formado pelo barramento do rio Verde, na Região de Planejamento e Gestão das Águas dos rios Verde e Jacaré. O reservatório é fonte de abastecimento para alguns municípios da região e fonte de captação para a irrigação do Perímetro Irrigado de Mirorós (CODEVASF, 2012).

3.1. BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS VERDE E JACARÉ

De acordo com o mapa apresentado pelo Plano de Bacia dos rios Verde e Jacaré, a Região de Planejamento e Gestão das Águas dos rios Verde e Jacaré (RPGA XVIII) está localizada no semiárido baiano, na Bacia Hidrográfica do rio São Francisco, como mostra a Figura 3. A RPGA XVIII é constituída pelas sub-bacias dos rios Verde e Jacaré, que se iniciam na região centro norte do Estado da Bahia e deságuam no rio São Francisco, pela margem direita do mesmo.

Figura 3 - Localização da RPGA dos rios Verde e Jacaré



Fonte: CBHVJ (2017).

Os principais cursos d'água da RPGA XVIII são: rio Verde, riacho do Santo Eusébio, riacho Lagoinha, rio Guariba, rio Jacaré, riacho do Mari, riacho do Meio, riacho das Pedras e riacho Brejo das Minas (INEMA, 2020). De acordo com o Plano de Recursos Hídricos e Proposta de Enquadramento dos Corpos de Água das bacias (CBHVJ, 2017a), todos os rios que compõem

essa RPGA são caracterizados como intermitentes, e, devido ao longo período de seca que ocorre na bacia, alguns trechos dos rios são considerados efêmeros.

A RPGA dos rios Verde e Jacaré compreende 349.628 habitantes, distribuídos em 29 municípios, sendo que destes, 14 municípios tem todo seu território compreendido pela RPGA (Jussara, Central, São Gabriel, Pres. Dutra, Irecê, Uibaí, João Dourado, Lapão, Cafarnaum, Barra do Mendes, Ibipeba, Canarana, América Dourada e Ibititá), 2 municípios possuem 60% do seu território na RPGA (Itaguaçu da Bahia e Barro Alto), 4 municípios tem entre 40% e 60% do território pertencente à RPGA (Sento Sé, Souto Soares, Seabra e Ipupiara), e outros 9 municípios possuem menos de 40% do território integrando essa RPGA (Ouroândia, Bonito, Gentio do Ouro, Brotas de Macaúbas, Xique-Xique, Umburanas, Mulungu do Morro, Morro do Chapéu e Ibitiara) (INEMA, 2020).

A principal atividade econômica da região é a agropecuária, com baixa geração de renda, por isso, a contribuição desse setor ao PIB é relativamente pequena. No entanto, essa atividade é muito importante para o território, visto que 19 municípios, incluindo os que possuem mais de 90% do seu território na área das bacias, têm mais de 40% da sua área territorial voltada para a agropecuária. A partir do mapeamento do uso do solo, tem-se a predominância da cobertura vegetal nativa, representando 55% do território das BHVJ e, logo em seguida, das atividades agrícolas que representam 33,4% da área (CBHVJ, 2017a). A irrigação corresponde ainda a cerca de 84% da demanda total de água das bacias dos rios Verde e Jacaré, seguida pelo abastecimento humano, que corresponde a 12% (CBHVJ, 2017b).

O clima predominante nas Bacias Hidrográficas dos rios Verde e Jacaré é o semiárido, que engloba cerca de 83% do território da bacia, caracterizado por altas temperaturas, excedentes hídricos nulos ou insignificantes, elevada insolação, baixa umidade relativa e chuvas anuais na faixa de 600 mm. As áreas mais elevadas, localizadas ao sudoeste e a estreita faixa ao leste de Cafarnaum e América Dourada, apresentam a variação do clima para subúmido a úmido, apresentando diminuição da temperatura, aumento da umidade relativa e aumento do índice pluviométrico para a ordem de 700 mm/ano (INEMA, 2020; CBHVJ, 2017a).

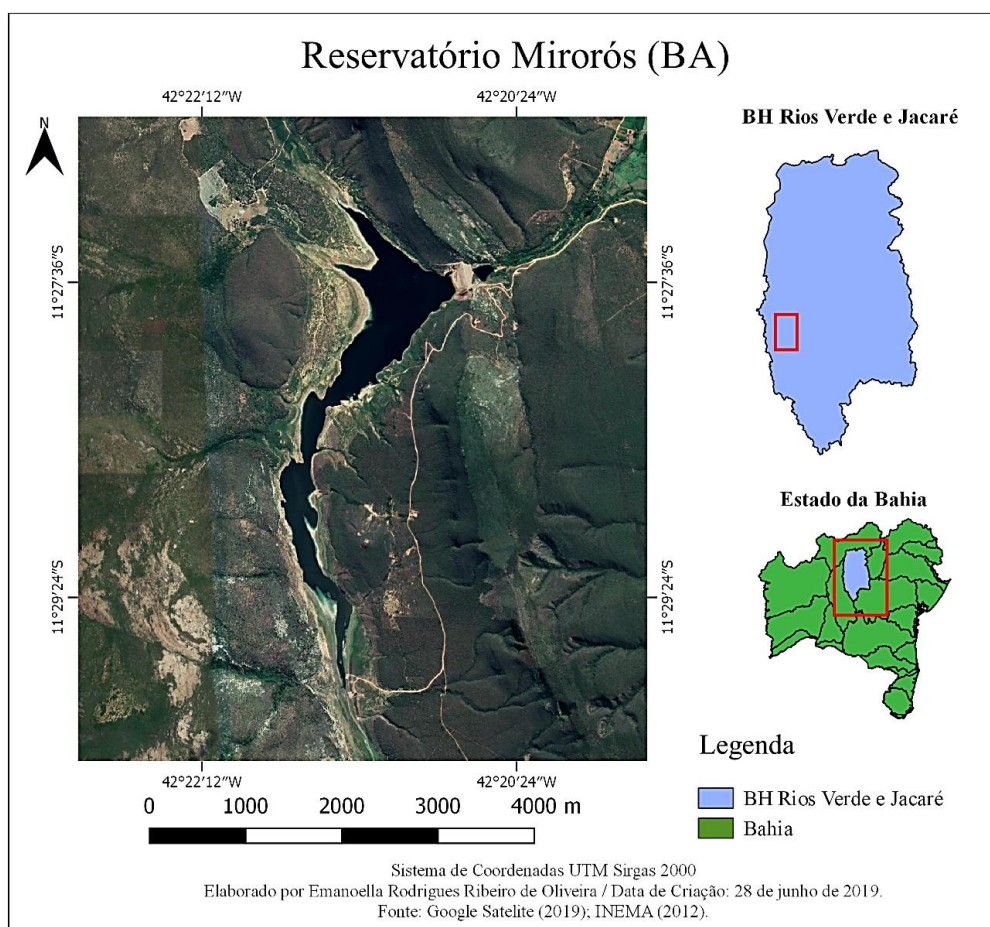
Nestas bacias, encontra-se uma série de pequenos barramentos nos rios. De acordo com o Plano de Recursos Hídricos das referidas bacias (CBHVJ-2017a), foram identificadas 34 barragens de nível no rio Jacaré, e 27 no rio Verde. No entanto, existe apenas uma barragem de grande porte, a barragem de Mirorós, no rio Verde. Essa barragem alterou significativamente o fluxo do rio Verde, controlando grande parte da zona de produção.

3.2. RESERVATÓRIO DE MIRORÓS

O reservatório Mirorós (Manoel Novais) é formado pelo barramento do rio Verde, e localiza-se no extremo sudoeste da RPGA dos rios Verde e Jacaré, no perímetro pertencente aos municípios Gentio de Ouro/BA e Ibipeba/BA, sendo suas coordenadas geográficas: 11° 27' 37''S e 42° 20'37''O, como mostra a Figura 4. O reservatório abrange uma área de drenagem total de aproximadamente 1.775 km², que comporta um volume máximo de 158,40 hm³ (ANA, 2017b). De acordo com o Marco Regulatório da Alocação de Água (ANA, 2017e) do sistema hídrico Mirorós, o reservatório tem capacidade para comportar 166,92 hm³.

O reservatório Mirorós está localizado na Unidade de Planejamento de Gestão de Recursos Hídricos Alto e Médio Verde (UPGRH V1). Essa unidade de planejamento apresenta fortes características rurais, sendo que aproximadamente 43% do total da sua população é rural. O Plano de Bacia mostra ainda que o total de demandas hídricas na UPGRH V1 corresponde a 21,87 hm³/ano, sendo que destes, 20,44 hm³/ano, ou seja, 90%, correspondem à demanda para irrigação (CBHVJ, 2017a).

Figura 4 - Mapa de localização do reservatório Mirorós



Fonte: Próprio autor (2020).

A construção da barragem de Mirorós teve início no ano de 1979 e foi finalizada em 1984, pela CODEVASF, que opera o reservatório atualmente (ANA, 2017b). Foi projetada para o atendimento a múltiplos usos, sendo os principais usos: atendimentos às demandas do Distrito de Irrigação do Perímetro Irrigado de Mirorós (DIPIM) localizado a jusante; e o Sistema Integrado de Abastecimento de Água (SIAA) de Irecê/BA e região, através da Adutora do Feijão. Além desses usos, o reservatório deve garantir a perenização do rio Verde e atendimentos de usos a jusante da barragem (ANA, 2017b).

De acordo com o CBHVJ (2017c), a finalidade primária da construção da barragem foi a irrigação para o perímetro irrigado. O reservatório está situado em uma área de relevo rochoso, não se observando usos agropecuários ao seu redor. No entanto, na área a jusante do reservatório, observam-se outras atividades de irrigação. A vazão ambiental liberada pelo reservatório está relacionada a uma extensão de aproximadamente 6 km. A partir desse ponto, o rio não apresenta fluxo. Nessa extensão, além do DIPIM, existem outras atividades de irrigação (CBHVJ, 2017c).

O Quadro 3 apresenta os dados estruturais e operativos do Sistema Hídrico de Mirorós.

Quadro 3 - Dados Técnicos do Sistema Hídrico Mirorós

| | | |
|---------------------------|-------------------------------------|--|
| Dados estruturais | Material do barramento | Terra e enrocamento |
| | Extensão do barramento (m) | 320,0 |
| | Altura do barramento (m) | 70,0 |
| Dados operacionais | Área de drenagem (km ²) | 1.774,70 |
| | Volume máximo (hm ³) | 158,40 ¹ /166,92 ² |
| | Volume mínimo (hm ³) | 20,12 |
| | Volume útil (hm ³) | 138,28 |
| | NA máximo operacional (m) | 532,00 |
| | NA mínimo operacional (m) | 502,00 |
| Vertedouro | Tipo | Superfície com controle |
| | Material | Concreto armado |
| | Comportas | 02 |
| | Vazão (m ³ /s) | 1.000 |

Fonte: Próprio autor com base em ANA (2017) e CODEVASF (2012).

Notas: ¹ Valor referenciado em ANA, 2017b; ² Valor referenciado em ANA, 2017e.

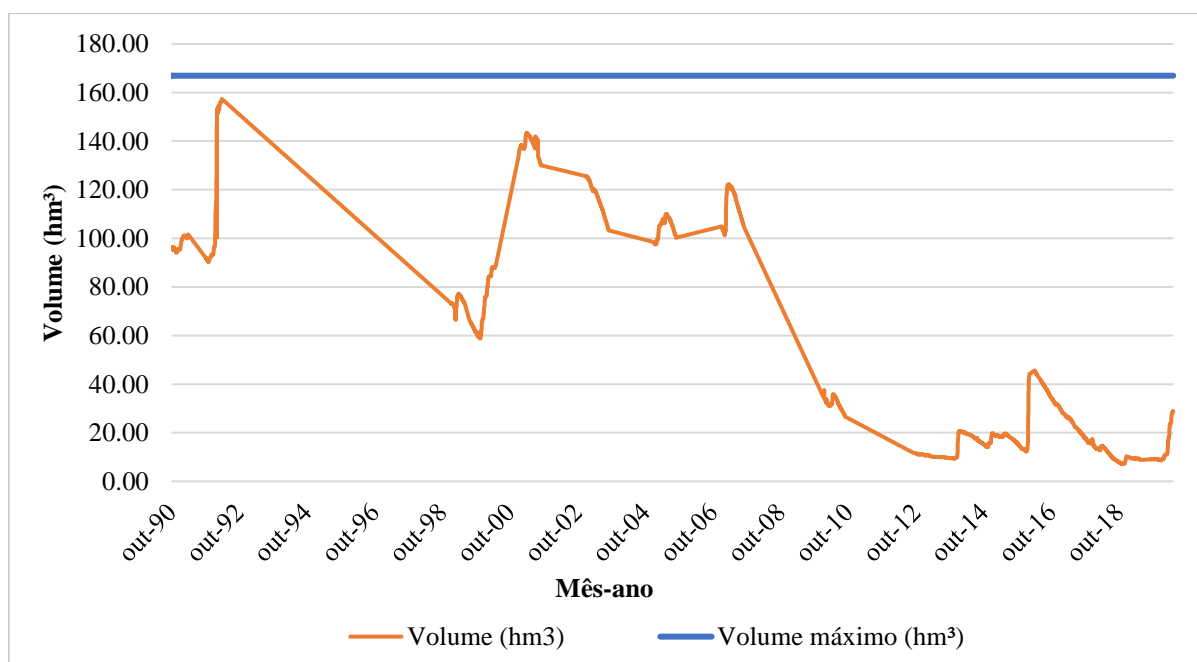
3.3. DISPONIBILIDADE HÍDRICA NO RESERVATÓRIO MIRORÓS

A localização do sistema hídrico Mirorós na região semiárida já o torna um reservatório com disponibilidade hídrica restrita naturalmente. Além dessas condições naturais do rio, com a intensificação das práticas de queimadas e desmatamentos a montante, o reservatório Mirorós foi perdendo sua capacidade de armazenamento ao longo do tempo (CUNHA *et al*, 2010).

De acordo com os dados dispostos no Sistema de Acompanhamento de Reservatórios (ANA, 2020a), é possível observar períodos de redução do volume de água do reservatório ao longo dos anos. Entre os anos de 2012 e 2015, o reservatório permaneceu com um volume de 5% a 12% da sua capacidade máxima. Em 2016, registrou-se um aumento no volume do reservatório, chegando a atingir 26% da sua capacidade total, no entanto o reservatório voltou a sofrer com a redução do volume, chegando a cair para aproximadamente 4% da sua capacidade máxima volumétrica no ano de 2018, o que manteve a cota do nível da água em 495,04 m. No final do mesmo ano, o volume de água sofreu um pequeno aumento, que resultou no aumento da lâmina d'água em 2 mm, porém ainda com capacidade muito baixa, entre 5% e 6% do seu volume máximo. A partir de abril de 2020 o reservatório passou a receber recarga de água significativa, aumentando seu volume para quase 18% da sua capacidade.

A Figura 5 apresenta a variação do volume de água no reservatório entre 1990 e 2020.

Figura 5 - Volume de Água no Reservatório Mirorós entre 1990 e 2020



Fonte: Próprio autor com base em ANA (2020).

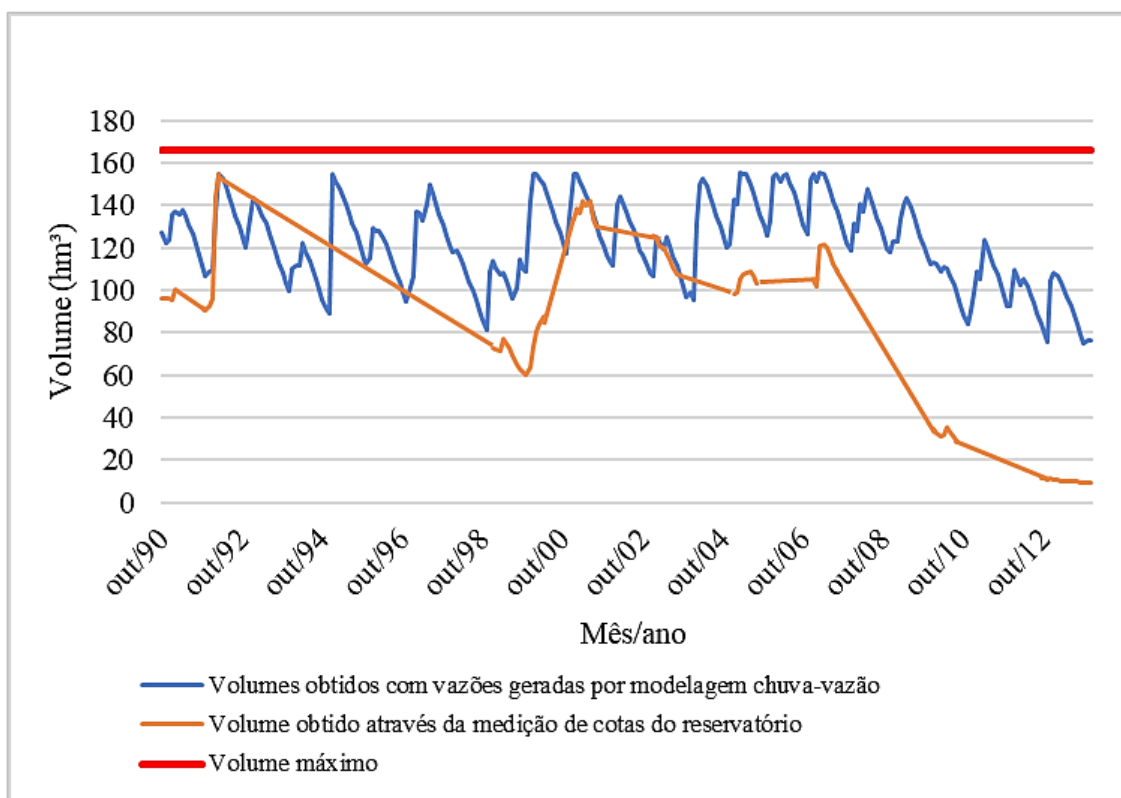
* Dados de 1990 a 2012 são dados referentes às medições da cota do reservatório, disponibilizados via e-mail (2020), e dados de 2012 a 2020 estão disponíveis em SAR/ANA, 2020.

Observa-se, ainda, que o período apresenta diversas falhas de medições, por exemplo, entre 1992 e 1998 não é possível estimar o comportamento do reservatório, o mesmo acontecendo com outros períodos menores, tais como 2008 a 2010 e 2010 a 2012. Os dados passam a ser mais consistentes a partir do mês de outubro de 2012. De acordo com a ANA (2017e), o volume do reservatório permaneceu abaixo de 38% da sua capacidade total em 50% do tempo, e nunca houve ocorrência de vertimento.

Em 2017, a Agência Nacional de Águas publicou um estudo sobre a situação dos reservatórios do semiárido brasileiro, denominado Reservatórios do Semiárido Brasileiro: Hidrologia, Balanço Hídrico e Operação. Nesse estudo realizado pela ANA, são apresentados dados referentes à disponibilidade hídrica, sendo eles: dados pluviométricos, evaporimétricos e fluviométricos. A Coordenação de Estudos Hidrológicos (COHID) da Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos (SPR) da ANA disponibilizou, por meio de correio eletrônico, os dados do balanço hídrico no reservatório de 1913 a 2013 levantados nesse estudo, sendo que as vazões mensais afluentes ao reservatório foram determinadas via modelagem chuva-vazão.

Com esses dados, foi possível realizar uma comparação entre os volumes de água no reservatório obtidos através da medição de cotas (Figura 5) e os volumes de água resultantes do balanço hídrico estimado a partir das vazões geradas pela modelagem chuva-vazão. O único período comum de dados entre essas duas referências é de outubro de 1990 a dezembro de 2013. Sendo assim, é apresentado o gráfico comparativo na Figura 6.

Figura 6 – Comparativo de volumes no reservatório Mirorós (hm³)



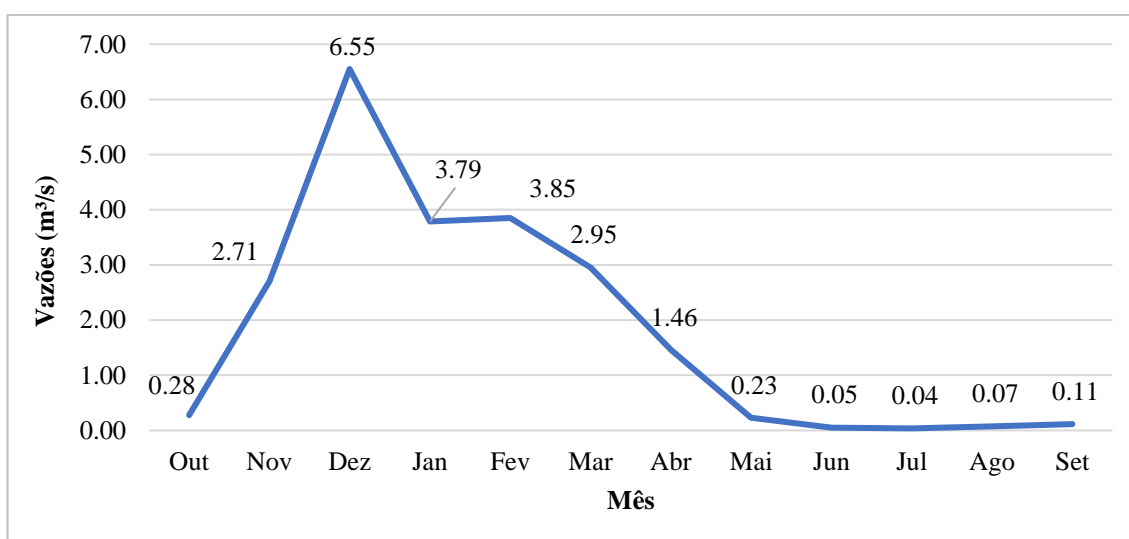
Fonte: Próprio autor com base em ANA (2020).

Há impossibilidade de realizar comparação em alguns períodos devido às falhas na medição das cotas do reservatório. No entanto, é possível observar alguns períodos em que as duas

curvas se assemelham, tais como nos anos de 1992, 2000 e 2003. Porém, no final da série é possível perceber que as duas curvas possuem valores bem distintos, sendo que nos volumes estimados a partir das vazões geradas pelo modelo chuva-vazão, os valores superaram 60 hm³, enquanto que na curva obtida a partir da medição das cotas têm-se volumes abaixo de 40 hm³. Dessa forma, observa-se que as vazões geradas para anos mais recentes não condizem com a situação observada através das medições.

A Figura 7 apresenta as médias mensais das vazões afluentes ao reservatório disponibilizadas pela COHID. Com base nesses dados, observa-se que o período seco compreende os meses de maio a outubro, apresentando valores de vazões quase nulos, e sendo mais críticos os meses de junho a agosto. Maiores vazões ocorrem nos meses de novembro a março, destacando-se o mês de dezembro.

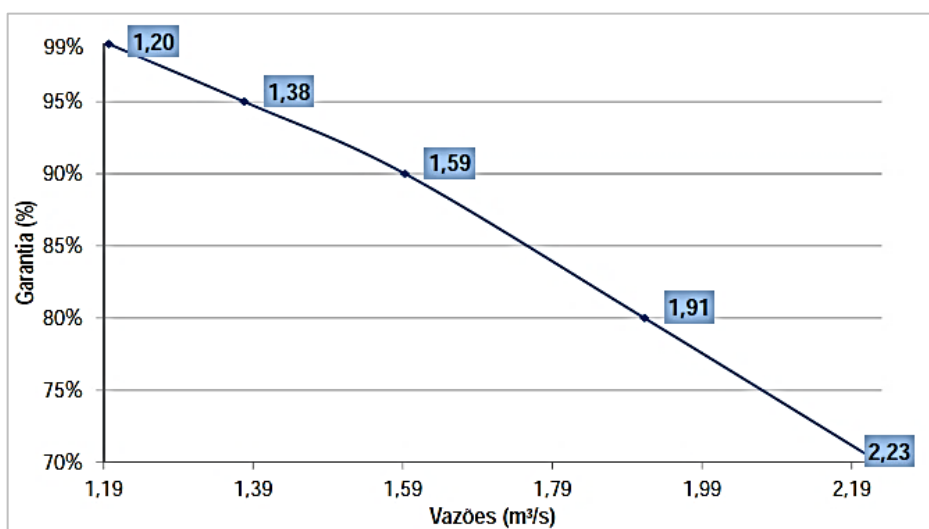
Figura 7 – Vazões médias mensais afluentes ao reservatório Mirorós(1913-2013)



Fonte: Próprio autor com base em ANA (2020).

O estudo dos Reservatórios do Semiárido Brasileiro apresentou ainda, como análise fluviométrica, a curva de regularização de vazões no reservatório estimada a partir do balanço hídrico, com garantias de 70%, 80%, 90%, 95% e 99%. A curva de regularização (Figura 8) expressa a vazão garantida a partir de determinada probabilidade. Sendo assim, a curva exprime que a vazão com 99% de garantia é igual a 1,20 m³/s. Já para 70% de garantia, a curva apresentou 2,23 m³/s.

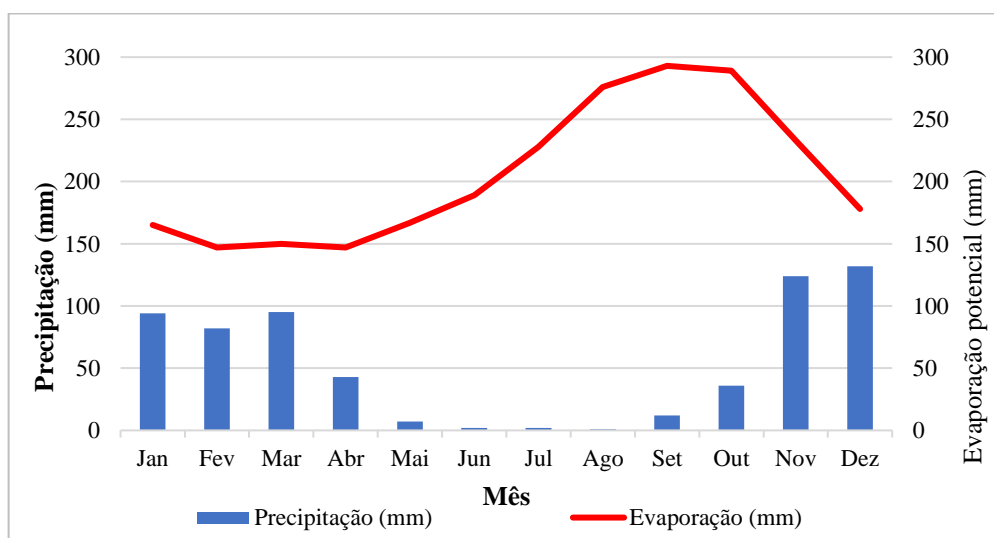
Figura 8 - Curva de regularização do reservatório Mirorós



Fonte: ANA (2017f).

O estudo dos reservatórios apresentou ainda os dados pluviométricos e evaporimétricos para cada reservatório. Para compor o vetor de precipitação, foram considerados postos pluviométricos próximos ao lago, verificando a inexistência de interferências e com uma quantidade de dados significativa (superior a 30 anos). Sendo assim, para o reservatório Mirorós foi obtido um índice chuvas médias igual a 631 mm/ano. Ainda para a análise evaporimétrica, foram utilizados dados das Normais Climatológicas de Evaporação Total do INMET de 1961 a 1990. Foi realizada a interpolação dos dados das estações cadastradas e, assim, obtidos dados de evaporação no local de cada reservatório a partir do centroide do espelho d'água. No reservatório de Mirorós, foi estimada uma evaporação de 2.461 mm por ano. Os dados de precipitação e evaporação são apresentados na Figura 9.

Figura 9 - Dados de precipitação e evaporação potencial no Reservatório Mirorós



Fonte: Próprio autor com base em ANA (2017f).

De acordo com os dados obtidos, é possível observar que o período com baixa precipitação ocorre entre os meses de abril e outubro, e o período úmido compreende apenas cinco meses do ano (novembro a março). Observa-se ainda que os volumes de água evaporados são muito maiores que os volumes precipitados, característica essa de regiões semiáridas. As maiores taxas de evaporação ocorrem nos meses de julho a novembro, abrangendo a estação seca da área de estudo.

De acordo com o Plano de Bacias dos rios Verde e Jacaré (CBHVJ, 2017a), a restrita disponibilidade superficial na região resulta em conflitos no acesso e alocação da água para produtores, aglomeração urbana e comunidades tradicionais. O Comitê de Bacia destaca o conflito dos usos da água do reservatório Mirorós para o Perímetro Irrigado de Mirorós e para o abastecimento humano através da Adutora do Feijão.

3.4. DEMANDAS HÍDRICAS

Os principais usos da água no Reservatório Mirorós são: a Adutora do Feijão responsável pela captação da água do reservatório para o abastecimento urbano de 15 municípios, sendo operada pela Empresa Baiana de Água e Saneamento (Embasa); o Perímetro Irrigado Mirorós, que possui área irrigável de mais de 2.000 ha e é operado pela Codevasf; e usos a jusante da barragem, que envolvem principalmente irrigantes ribeirinhos no rio Verde.

Devido ao grande *déficit* hídrico no sistema nos últimos anos, os conflitos entre usuários têm se intensificado, ocorrendo conflitos entre usos no reservatório (abastecimento humano e irrigação), e ainda entre esses usos no reservatório e os usos a jusante do barramento (irrigantes ribeirinhos) (CBHVJ, 2017a; ANA, 2017e).

3.4.1. Abastecimento Humano – SIAA rio Verde

O reservatório Mirorós exporta água para o Sistema Integrado de Abastecimento de Água (SIAA) de Irecê, através da Adutora do Feijão, inaugurada no ano de 1994, que transporta a água bruta até uma Estação de Tratamento de Água no município de Ibititá/BA. O sistema é operado pela Empresa Baiana de Águas e Saneamento (Embasa) e durante 18 anos, atendeu a mais de 210 localidades (CODEVASF, 2012; BAHIA, 2016). Os municípios abastecidos pelo reservatório Mirorós são América Dourada, Barra do Mendes, Barro Alto, Cafarnaum, Canarana, Central, Ibipecta, Ibititá, Irecê, Itaguaçu da Bahia, João Dourado, Jussara, Lapão, Presidente Dutra, São Gabriel e Uibaí.

No entanto, devido à contínua diminuição dos níveis no reservatório de Mirorós, o SIAA inaugurou uma nova captação de água, em fevereiro de 2013, em um braço rio São Francisco, na localidade de Nova Iguaire, no território do município de Xique-Xique/BA. Após a captação, a água é aduzida até a Estação de Tratamento de Água no município de Itaguaçu da Bahia/BA. Inicialmente, a adutora atendia aos municípios de América Dourada, Central, Irecê, João Dourado, Jussara, São Gabriel e Itaguaçu da Bahia. Posteriormente, a captação de água pela adutora do São Francisco foi ampliada de 1.400 m³/h para 2.200 m³/h, passando a abastecer os outros nove municípios interligados ao sistema, totalizando em 16 municípios abastecidos pela Adutora do rio São Francisco (EMBASA, 2018; BAHIA, 2016; AGERSA, 2012). Ressalta-se que o município de Itaguaçu da Bahia é atendido apenas pela adutora do rio São Francisco. A Figura 10 apresenta o esquema do SIAA Irecê.

Figura 10 – Esquema do SIAA Irecê



Fonte: AGERSA (2016).

De acordo com a AGERSA (2016), o reforço do SIAA através da Adutora do São Francisco tem como objetivo abastecer mais de 370 mil habitantes, sendo a previsão de atendimento para 2025 de cerca de 413.176 habitantes. O setor de Operações Norte da Embasa afirmou em 2018 que essa medida não é definitiva, visto que há pretensão de retornar o abastecimento pela

Adutora do Feijão quando o reservatório Mirorós for capaz de atender à demanda. No entanto, a Adutora do São Francisco atualmente é a principal fonte de abastecimento de água na região. A vazão de água outorgada para a captação de água na Adutora do Feijão era de 14.454.000 m³/ano, ou seja, 458 litros/segundo. Atualmente, o volume anual corresponde a 8.768.059 m³, equivalente a 278 litros/segundo (ANA, 2020).

3.4.2. Perímetro Irrigado de Mirorós

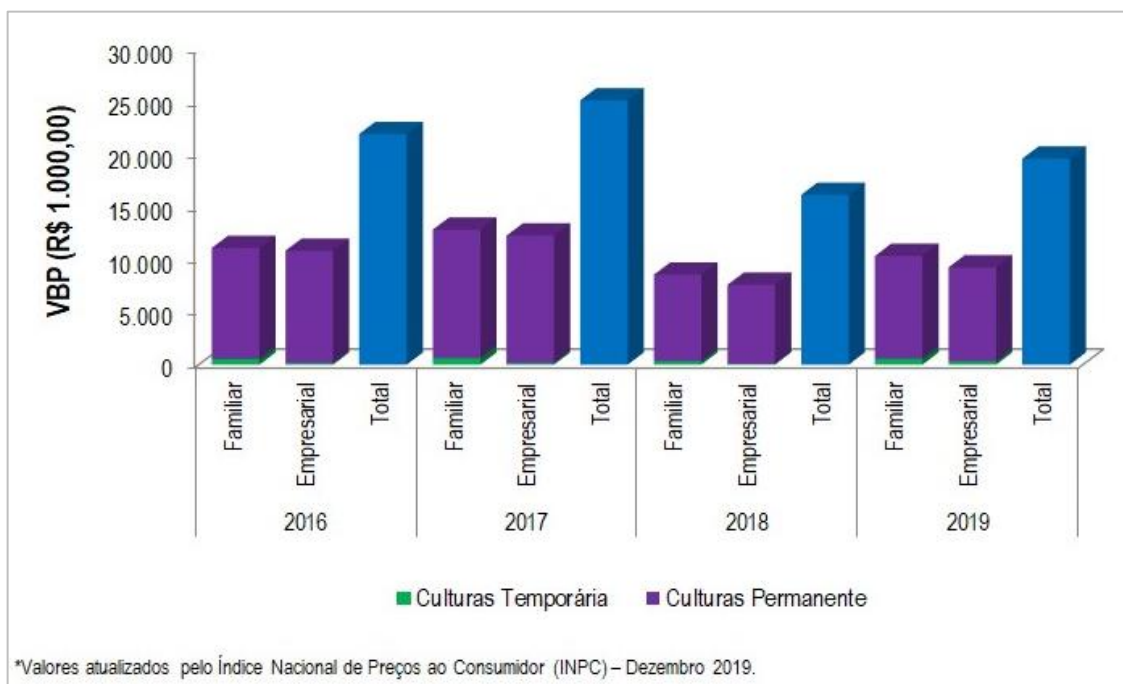
O perímetro irrigado de Mirorós teve sua construção iniciada em 1992 e sua operação iniciou em 1996. A área irrigável é de aproximadamente 2.159 hectares, sendo 796 hectares de lotes familiares e 977 hectares de lotes empresariais. O perímetro é abastecido pelo reservatório de Mirorós (CODEVASF, 2019).

Em 1998, a gerência do perímetro irrigado foi transferida da CODEVASF para o DIPIM - Distrito de Irrigação do Perímetro Irrigado de Mirorós. O DIPIM funciona como associação, e seus membros são os irrigantes do perímetro irrigado, que geralmente são moradores dos lotes do perímetro, do povoado de Mirorós e de cidades e povoados próximos. O DIPIM tem como responsabilidade administrar, garantir a conservação, operar e oferecer manutenção da infraestrutura utilizada pelos irrigantes através da receita arrecadada pelo uso da água e consumo de energia (CUNHA *et al*, 2010).

A vazão de projeto do Perímetro Irrigado é de 1.300 litros/segundo (CODEVASF, 2012), sendo o volume anual outorgado de 27.467.505 m³, ou seja, 871 litros/segundo (CODEVASF, 2012; ANA, 2020). Entretanto, com a redução da disponibilidade de água no rio Verde, foi necessário implantar soluções alternativas para complementar a demanda de água para irrigação, sendo frequentemente utilizados poços de captação de água subterrânea (CBHVJ, 2017a).

Devido à grande redução do volume de água no reservatório Mirorós, a produção no projeto sofreu prejuízos, sendo que somente 40% da área irrigável do perímetro recebem água de qualidade, diminuindo assim os índices e a qualidade da produção. Como mostra Figura 11, o valor bruto de produção (VBP) no perímetro irrigado sofreu uma redução de 36% do ano de 2017 para 2018, voltando a crescer no ano de 2019, fato que se deve principalmente ao aumento do preço da banana. Ressalta-se que a cultura da banana representou 72% da área cultivada e 89% do VPB total no ano de 2019. Os métodos de irrigação utilizados são principalmente microaspersão e gotejamento (CODEVASF, 2019)

Figura 11 - Evolução do Valor Bruto de Produção do projeto de Mirorós



Fonte: CODEVASF (2019).

3.4.3. Usos a jusante do reservatório

Além desses usos, o reservatório Mirorós pereniza o vale a jusante, onde se observam usos regulados pela entidade reguladora estadual (INEMA), visto que as águas do rio Verde são de domínio do Estado.

De acordo com a Nota Técnica nº 13/2017/COMAR/SER/ANA, em 2016, o INEMA encaminhou à ANA a Nota Técnica INEMA nº 34/2016, visando apresentar os usos cadastrados no trecho de perenização, que correspondem a 82,3 l/s em processos de análise e 186,5 l/s com autorizações de uso da água vencidas. Com isso, a ANA propôs destinar 180 l/s para os usos a jusante do barramento até a confluência com o Riacho da Conceição e ainda 70 l/s para a perenização do trecho do rio também até a confluência com o riacho. Esse último valor contempla as perdas no trânsito e os usos isentos de outorgas de uso da água destinados ao consumo humano e à dessedentação animal (ANA, 2017e).

No entanto, em solicitação ao INEMA foram disponibilizados dados de outorgas de uso da água (válidas e vencidas) que correspondem a um total de 111,53 l/s para os irrigantes entre o barramento e a confluência com o Riacho da Conceição, abrangendo os municípios de Ibipêba e Itaguaçu da Bahia, e 3 l/s para o abastecimento público de Itaguaçu da Bahia realizado pela prefeitura. Vale destacar que após a construção da adutora do rio São Francisco, o município de Itaguaçu da Bahia passou a ser abastecido pelo SIAA Irecê.

De acordo com Cunha *et al* (2010), os primeiros conflitos entre usos múltiplos no reservatório surgiram logo após a inauguração da barragem, sendo primeiramente identificados os conflitos entre a CODEVASF (gestor da barragem na época) e os irrigantes no município de Itaguaçu da Bahia. A construção da barragem aconteceu em um período de grande estiagem na região e, após o barramento do rio, ocorreu uma brusca redução das vazões a jusante, com a consequente queda na produção dos irrigantes de Itaguaçu da Bahia. Os autores citam ainda que a reclamação dos irrigantes desse município pode estar relacionada à grande quantidade de água demandada pelo perímetro irrigado de Mirorós, maior usuário do sistema.

Após o conflito entre a CODEVASF e os irrigantes de Itaguaçu da Bahia, surgem conflitos entre a CODEVASF e os irrigantes a jusante logo após o barramento. Muitos agricultores possuíam seus cultivos nas várzeas do rio Verde, e quando maior quantidade de água era liberada a jusante, favorecendo os irrigantes de Itaguaçu da Bahia, ocorriam inundações das plantações próximas ao reservatório (CUNHA, *et al*, 2010).

Após a inauguração da Adutora do Feijão, outros conflitos surgiram, destacando-se entre eles: Embasa e irrigantes do Perímetro Irrigado de Mirorós, representando o conflito entre usos do abastecimento humano e irrigação. As reclamações dos irrigantes do perímetro irrigado estavam relacionadas ao aumento do uso de água para o abastecimento humano, o que ocasionou a paralisação das irrigações em secas mais severas (CUNHA *et al*, 2010).

Mesmo após a construção da adutora do rio São Francisco, diminuindo a pressão hídrica sobre o reservatório, os conflitos persistem, visto que, ainda assim, a Embasa detém a outorga de captação de água no reservatório de aproximadamente 280 l/s. A outorga de captação no rio São Francisco corresponde a 657 l/s autorizada através da Resolução ANA nº 1.235/2018, o que seria suficiente para atender a toda a demanda do abastecimento humano.

Em 2016, a Embasa apresentou à ANA algumas justificativas em relação às outorgas de captação no rio São Francisco e no reservatório de Mirorós, entre elas foi citado que o sistema adutor do rio São Francisco foi projetado considerando-se a manutenção da vazão de 250 l/s para a adutora do Feijão. A ANA propôs o uso do açude Mirorós para abastecimento humano como manancial suplementar, e o rio São Francisco como manancial principal, possibilitando a flexibilização das prioridades de uso do reservatório (ANA, 2017e).

Na reunião de alocação de água do presente ano, Rocha (2020), gerente e representante da Embasa, relatou que, devido à escassez hídrica no reservatório Mirorós, a adutora do rio São

Francisco atualmente encontra-se em operação cerca de 24 horas por dia, o que dificulta a realização de manutenções corretivas. Citou ainda que a adutora do rio São Francisco apresenta deficiências construtivas, incluindo vazamentos que precisam ser corrigidos, sendo necessário paralisar o sistema de abastecimento de água para manutenções. Dessa forma, o gerente afirmou que haveria um maior conforto no sistema caso houvesse maior disponibilidade de água no reservatório. Ressaltou ainda que a vazão mínima de operação da adutora do feijão (reservatório Mirorós) é 260 l/s, e por isso, quando ocorre a operação desse sistema, é necessário realizar a captação dessa vazão em um tempo de operação reduzido no dia, a fim de que a vazão não supere a vazão média anual alocada.

Sendo assim, atualmente a captação para abastecimento humano é quase que totalmente realizada no rio São Francisco. No entanto, os termos de alocação de água ressaltam que a Embasa possui autorização prévia para utilizar eventualmente vazões maiores que as alocadas no açude, em caso de colapso no sistema adutor do rio São Francisco.

Souza (2020) acrescentou sobre a variável financeira que está relacionada à captação de água pela Embasa no rio São Francisco, citando que os custos para operação da adutora do rio São Francisco são maiores que a adutora do Feijão, visto que o transporte de água na adutora do São Francisco ocorre por bombeamento. Enquanto que na adutora do Feijão, ainda que existam algumas estações elevatórias, o transporte de água ocorre em grande parte por gravidade, pois o reservatório Mirorós encontra-se em cota mais elevada que os municípios atendidos.

De acordo com a CODEVASF (2019), há um estudo de viabilidade técnica e ambiental, em fase de conclusão, de um sistema adutor de reforço para o rio Verde. O objetivo do empreendimento é implementar um reforço hídrico para a bacia a partir do rio São Francisco, sendo implantado um canal de ligação entre o canal principal do Projeto Baixio de Irecê e a sede do município de Itaguaçu da Bahia, e ainda uma adutora entre esse canal e o perímetro irrigado de Mirorós. Dessa forma, a obra irá ampliar a disponibilidade de água para o abastecimento humano e animal nos municípios de Itaguaçu da Bahia, Ibipeba, Xique-Xique e Gentio do Ouro, e para o perímetro irrigado de Mirorós e outros empreendimentos agrícolas da região.

3.4.5. Procedimentos de alocação de água no Reservatório Mirorós

A Agência Nacional de Águas estabelece as condições de uso dos recursos hídricos do sistema hídrico Mirorós através da Nota Técnica nº 13/2017/COMAR/SRE. A primeira reunião de alocação de água do reservatório Mirorós aconteceu em 2009, com a apresentação dos cenários de uso da água no açude. Em 2010, foram estabelecidos dois níveis de alerta: o alerta 1, com a

cota igual a 507,76 m, limitando as condições de uso da água pelo DIPIM, e o alerta 2, com cota de 502,00 m, estabelecendo obrigações à EMBASA de implementar ações de emergência e de racionamento dos usos urbanos. Em 2013 foram estabelecidas novas condições aos usos, sendo: captação de água de 250 l/s para a Embasa e defluência de 90 l/s para o rio Verde. A partir disso, diversas reuniões foram realizadas para discutir a alocação de água no sistema (ANA, 2017).

A Nota Técnica 13/2017 estabelece ainda as máximas vazões de captação nos estados hidrológicos verde, amarelo e vermelho para cada uso (Figura 13).

Figura 13 -Estados hidrológicos do sistema hídrico Mirorós

| Estado Hidrológico | Volume hm ³ (março) | Cota m (março) | Uso | Condição de uso | |
|--------------------|---|------------------------------|---|----------------------------|-----------------------------|
| | | | | l/s | % |
| Verde | >= 87,5 hm³ | >= 519 m | Todos | 1579 | 100% |
| Amarelo | Entre 27,6 E 87,5 hm³ | Entre 504 e 519 m | Abastecimento SIAA Rio Verde | Entre 137 e 458 | Entre 30% e 100% |
| | | | Irrigação DIPIM | Entre 261 e 871 | Entre 30% e 100% |
| | | | Usos jusante | Entre 54 e 180 | Entre 30% e 100% |
| | | | Perenização jusante | 70 | 100% |
| Vermelho | <= 27,6 hm³ | <= 504 m | Abastecimento SIAA Rio Verde | <= 137 | <= 30% |
| | | | Irrigação DIPIM | <= 261 | <= 30% |
| | | | Usos jusante | <= 54 | <= 30% |
| | | | Perenização jusante | 70 | 100% |

Fonte: ANA (2017e).

De acordo com as diretrizes de prioridades para a emissão de outorgas definidos pelo Plano de Recursos Hídricos do rio São Francisco têm-se: priorização do consumo humano e dessedentação animal; posteriormente, a vazão ambiental; e ,por fim, os usos preponderantes em cada sub-bacia. No entanto, ressalta-se que os rios das bacias hidrográficas dos rios Verde e Jacaré são intermitentes, e assim, não se aplica o conceito clássico da vazão ambiental. Dessa forma, a priorização dos usos nessa bacia segue: 1-abastecimento humano e dessedentação animal e 2-irrigação. Em conjunto com os usuários locais, foram definidos para a alocação de água no reservatório Mirorós as seguintes prioridades: 1-consumo humano e dessedentação animal, 2- salvamento de culturas permanentes e 3-demais usos (CBHVJ, 2017a; ANA, 2017). No entanto, observa-se que, nas regras de alocação de água determinadas pela Nota Técnica 13/2017, foi estabelecido atendimento de 100% da vazão de perenização a jusante, mesmo no estado hidrológico vermelho.

O especialista da ANA, Souza (2020), relatou que no processo de alocação de água no reservatório Mirorós, foram estabelecidas restrições de disponibilidade para todos os usuários, inclusive o abastecimento humano, isso porque o abastecimento humano possui uma alternativa de captação no rio São Francisco, manancial mais seguro do que o reservatório. O especialista citou ainda que considera essa abordagem como inovadora.

Os termos de alocação de água estabelecem as regras de uso da água para um período pré-determinado. O

Quadro 4 apresenta as regras estabelecidas nos termos de alocação do sistema hídrico Mirorós dos anos de 2016 a 2020 definidas pela ANA com base na metodologia de alocação negociada de águas em açudes isolados (detalhada no capítulo 2.1.4).

Quadro 4 - Condições de uso da água no sistema Mirorós

| Período | Estado Hidrológico | Volume (hm ³) | Cota (m) | Uso | Condições de uso | |
|-----------|---|---------------------------|---------------|---|-------------------------|---------------|
| | | | | | Vazão média anual (l/s) | Restrição (%) |
| 2016-2017 | Não informado | Não informado | Não informado | Abastecimento SIAA rio Verde | 230 | 50 |
| | | | | DIPIM-Abastecimento humano | 2 | 100 |
| | | | | Irrigação DIPIM | 400 | 46 |
| | | | | Usos Jusante | 50 | 100 |
| | | | | Perenização jusante | 110 | 55 |
| 2017-2018 | Vermelho (Situação de escassez hídrica) | 23,31 | 503,28 | Abastecimento SIAA rio Verde (junho a novembro) | 230 | 30 |
| | | | | Abastecimento SIAA rio Verde (a partir de dez) | 20 | |
| | | | | Irrigação DIPIM | 261 | 30 |
| | | | | Usos Jusante | 54 | 30 |
| | | | | Perenização jusante | 70 | 100 |
| 2018-2019 | Vermelho (Situação de escassez hídrica) | 12,57 | 498,4 | Abastecimento SIAA rio Verde (até julho) | 230 | 30 |
| | | | | Abastecimento SIAA rio Verde (a partir de agosto) | 22 | |
| | | | | Irrigação DIPIM | 261 | 30 |
| | | | | Usos Jusante | 54 | 30 |
| | | | | Perenização jusante | 70 | 100 |
| 2019-2020 | Vermelho (Situação de escassez hídrica) | 7,65 | 496,47 | Abastecimento SIAA rio Verde | 20 | 8 |
| | | | | Irrigação DIPIM | 180 | 20 |
| | | | | Usos Jusante | 80 | 32 |
| | | | | Perenização jusante | | |
| 2020-2021 | Amarelo | 30,16 | 505,65 | Abastecimento SIAA rio Verde | 50 | 12 |
| | | | | Irrigação DIPIM | 261 | 30 |
| | | | | Usos Jusante | 124 | 50 |
| | | | | Perenização jusante | | |

Fonte: Adaptado de ANA (2015, 2016, 2017, 2018, 2019).

* A Embasa poderá utilizar vazão superior à alocada caso o sistema de abastecimento entre em colapso.

A partir dos dados apresentados é possível perceber a redução do volume e níveis de água no reservatório Mirorós entre os anos de 2017 e 2020. Observa-se ainda que as condições de uso da água ficaram mais restritas ao longo dos anos, e uma criticidade maior é apresentada no termo de alocação de água 2019-2020, com restrições equivalentes a 8% da vazão de captação para o abastecimento urbano e 20% para o perímetro irrigado. Ressalta-se que para o abastecimento do SIAA Irecê existe a Adutora do rio São Francisco, que minimiza os impactos causados pela redução do nível de água no reservatório de Mirorós. Na Alocação de água 2020-2021 as restrições se tornam mais flexíveis devido à entrada de água no reservatório. Observa-se que a vazão alocada para abastecimento humano ainda é baixa por conta da adutora de reforço do abastecimento, e assim foi possível aumentar o atendimento para a irrigação.

4. METODOLOGIA

A fim de atingir os objetivos desse trabalho, a metodologia foi dividida nas seguintes etapas:

- análise do atual processo de alocação da água, a fim de compreender o processo e identificar as informações relevantes para aperfeiçoá-lo;
- análise do comportamento da demanda dos usuários do reservatório, visando determinar a curva de benefício marginal de cada usuário e identificar as informações necessárias para valoração da água nos usos de abastecimento humano e irrigação; e
- análise da influência da abordagem hidroeconômica na alocação de água, buscando identificar a relevância de utilizar a análise econômica como parte do processo de alocação de água e os procedimentos para sua implementação.

Os dados foram levantados a partir de estudos realizados sobre o tema; resoluções e relatórios oficiais de instituições federais e estaduais, tais como a Agência Nacional de Água e Comitê de Bacias Hidrográficas dos rios Verde e Jacaré; e solicitações oficiais de dados fornecidos por instituições envolvidas, como o Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do estado da Bahia, Companhia de Desenvolvimento do Vale São Francisco, o escritório do Distrito Irrigado do Perímetro Irrigado de Mirorós e, ainda, a Agência Nacional de Águas.

A análise das atuais condições do processo de alocação de água no sistema hídrico foi realizada com base na legislação vigente sobre a alocação de água no sistema, e teve como método de análise a Matriz Swot.

O modelo de suporte à decisão escolhido para a simulação da operação do reservatório foi o AcquaNet, por ser um *software* de livre acesso e apresentar praticidade na construção de modelos e simulação dos sistemas hídricos. Sendo assim, poderá ser replicado com maior facilidade nos processos de alocação de água em outras áreas de estudo. Após a modelagem, foram calculados os índices de desempenho do reservatório e os custos de escassez de cada alternativa de alocação, a fim de auxiliar à análise comparativa dos resultados.

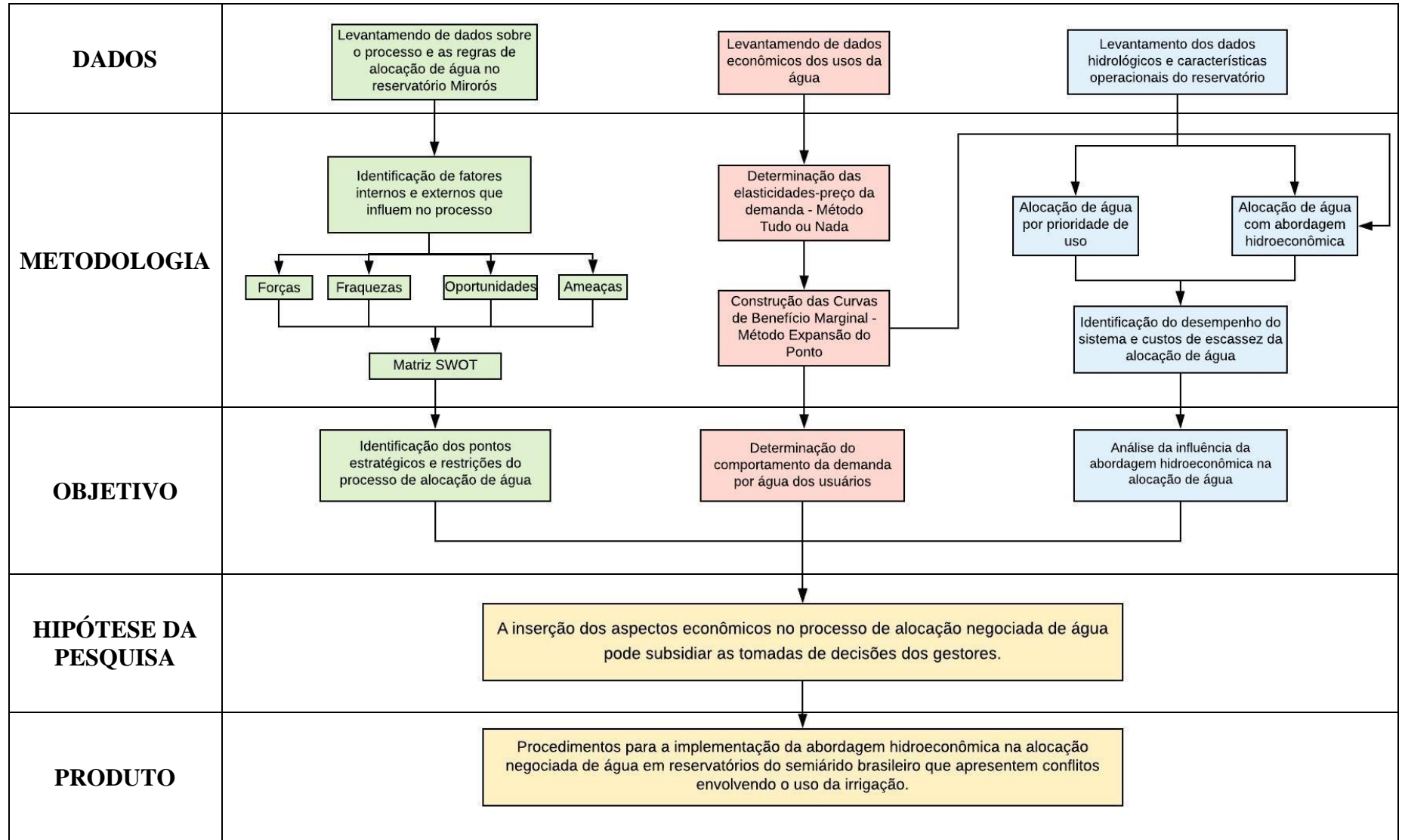
Para realizar a modelagem hidroeconômica no AcquaNet, é necessário a inserção das curvas de demanda dos usuários da água, que foram estimadas no Microsoft Office Excel utilizando o método de expansão do ponto, com base no modelo de equação exponencial requisitado pelo AcquaNet. As elasticidades-preço da demanda dos usuários utilizadas na construção das curvas de demanda foram obtidas através do método “tudo ou nada”.

Após a obtenção dos resultados, foi possível identificar a influência da abordagem econômica na alocação de água, e assim a pesquisa teve como produto a elaboração de um guia de

procedimentos para implementação da abordagem hidroeconômica na alocação de água em reservatórios do semiárido brasileiro que apresentem conflitos envolvendo o uso da irrigação.

As etapas do presente estudo estão resumidas na Figura 14 e detalhadas nos tópicos seguintes.

Figura 14 - Esquema da metodologia da pesquisa



Fonte: Próprio autor (2020).

4.1. LEVANTAMENTO E ANÁLISE DE DADOS

A seguir, detalham-se a coleta e análise dos dados necessários para o estudo.

4.1.1. Dados para análise da alocação de água atual

A análise do atual processo de alocação de água no sistema hídrico Mirorós teve como base os atos regulatórios da alocação negociada no reservatório, divulgados pela Agência Nacional de Águas em sua página oficial (<https://www.ana.gov.br/regulacao>). Os documentos utilizados foram:

- Nota Técnica nº 13/2017/COMAR/SER, de 09 de março de 2017, com o assunto “Marco Regulatório estabelecendo condições de uso dos recursos hídricos no sistema hídrico Mirorós, no Estado da Bahia”;
- Termo de Alocação de Água no Sistema Hídrico Mirorós 2020/2021;
- Termo de Alocação de Água no Sistema Hídrico Mirorós 2019/2020;
- Termo de Alocação de Água no Sistema Hídrico Mirorós 2018/2019;
- Termo de Alocação de Água no Sistema Hídrico Mirorós 2017/2018;
- Termo de Alocação de Água no Sistema Hídrico Mirorós 2016/2017;
- Boletim de Acompanhamento da Alocação no Sistema Hídrico Mirorós – Janeiro/2020.

Utilizou-se ainda o Plano de Recursos Hídricos das bacias dos rios Verde e Jacaré, elaborado no ano de 2017, para a análise de aspectos negativos e positivos que influenciam na alocação de água do reservatório.

4.1.2. Dados para obtenção da elasticidade-preço da demanda

A elasticidade-preço da demanda de cada usuário foi obtida através do método curva “tudo ou nada”, no qual foram estimados os custos de duas soluções alternativas para cada uso que poderiam ser utilizadas para captação de água. As referências utilizadas para a composição dos custos das alternativas são apresentadas no Quadro 5.

Quadro 5 - Referências utilizadas na obtenção dos custos de alternativas de captação de água

| Referência | Dados* |
|---|---|
| Fernandez <i>et al</i> (2007) | Preços de implantação, operação e manutenção de sistemas de adução e estações de bombeamento. Vida útil das adutoras e estações de bombeamento. |
| Plano Municipal de Saneamento Básico de Xique-Xique – Agência Peixe Vivo (2018) | Locação e nivelamento de adutora de água bruta |
| COELBA (2020) | Tarifas de energia elétrica, sendo considerado o Consumo ativo Fora de Ponta. |
| CODEVASF (2013) | Custos da implantação de poços tubulares |
| Tropical Poços (2020) | Custo anual com a operação de poços tubulares na região de Irecê/BA. |

Fonte: Próprio autor (2020).

* Os dados estão apresentados em apêndice.

Fernandez *et al* (2007) estimou curvas de custos para implantação, operação e manutenção de sistemas de abastecimento de água, incluindo adutoras de água bruta e estações de bombeamento para populações na faixa de 5 mil a 500 mil habitantes. Para as adutoras, o autor considerou os custos de acordo com a localização (em meio rural ou semi-rural), e de acordo com o material da tubulação (ferro fundido, aço, PVC e RPVC). Foi considerada a vida útil média das estações de bombeamento igual a 15 anos, e 30 anos para tubulações de ferro fundido.

A potência necessária em cada alternativa foi estimada com base no Manual de Hidráulica (Azevedo Netto, 1998), utilizando o desnível geométrico, a extensão e o diâmetro da tubulação, a vazão transportada e as perdas de carga ao longo da tubulação. Segundo Azevedo Netto (1998), em tubulações com grande extensão (4.000 vezes maior que o diâmetro), são desconsideradas as perdas localizadas.

De acordo com Fernandez *et al* (2007), os custos de operação e manutenção foram compostos por três grupos: mão de obra, insumos e despesas diretas. Os insumos para operação são basicamente de energia elétrica, enquanto os insumos para a manutenção estão relacionados aos materiais e peças. No caso dos custos de operação das estações de bombeamento, foram desconsiderados os insumos, visto que o custo com energia elétrica foi obtido externamente, a partir das tarifas cobradas pela Companhia de Energia Elétrica da Bahia (Coelba). O autor não considerou os custos de desapropriações, levantamentos topográficos e estudos geotécnicos, dessa forma, utilizou-se o Plano Municipal de Saneamento Básico do município de Xique-Xique para estimar os custos com locação e nivelamento das adutoras.

Para as alternativas de captação de água através da implantação de poços subterrâneos, utilizou-se como referência um processo de licitação realizado pela Codevasf com o objetivo de executar obras e serviços de perfuração e instalação de poços tubulares para o abastecimento de água em diversos municípios baianos, incluindo alguns municípios da área de estudo: Irecê, Lapão, Central, São Gabriel, Barro Alto, Canarana, Cafarnaum, Ibipeba, Barra do Mendes e João Dourado. Como mencionado, as alternativas de captação de água propostas para o abastecimento humano concentraram-se no município de Irecê, que se encontra em sua maior parte em aquífero cárstico. Dessa forma, considerou-se na formação dos custos os poços tubulares em solo predominantemente calcáreo. O orçamento proposto pela Codevasf inclui estudos prévios, perfuração do poço, testes, instalação da unidade de bombeamento e outros itens necessários na implantação do poço.

De acordo com Oliveira *et al* (2007), os domínios cársticos apresentam porosidade e permeabilidade secundária, apresentando amplas variações de vazões, sendo a vazão média estimada por outros autores de 9,12 m³/h. Através do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, em uma amostra de 222 poços com dados de vazões de estabilização, observou-se uma média de 11,7 m³/h (CPRM, 2020). Luz *et al* (2018) realizaram uma análise estatística dos poços na região do Platô de Irecê, obtendo uma vazão média de 10 m³/h nos poços da região. Passos Filho *et al* (2018) estudaram as captações de água no município de Irecê, identificando que, dos poços estudados, apenas 7% apresentaram vazões inferiores a 0,5 m³/h e que a vazão média dos poços produtivos da região é de 16,5 m³/h. Dessa forma, considerou-se válido adotar a vazão de 16,5 m³/h para fins de cálculos da alternativa de implantação de poços para o abastecimento humano.

Em se tratando dos usuários da irrigação, buscou-se informações sobre as vazões médias de poços instalados no Distrito de Mirorós. Com base no SIAGAS, observou-se uma vazão de estabilização média de 48 m³/h. Diniz *et al* (2012) apresenta uma caracterização hidrogeológica do aquífero do Salitre no Perímetro Irrigado de Mirorós, dividindo o aquífero em três zonas: zona do canal, zona da Salinas e zona pós-Salinas. A zona do canal apresenta a maior quantidade dos poços estudados pelos autores, com vazões oscilando entre 40 e 120 m³/h. Na zona da Salinas, ocorrem as melhores condições de recarga, apresentando poços com vazões superiores a 400 m³/h, contudo é a zona de maior carstificação. A zona pós-Salinas apresenta menor recarga e suas vazões máximas não ultrapassam 50 m³/h. Sendo assim, adotou-se como vazão média dos poços de captação de água para a irrigação a vazão média na zona do canal, sendo igual a 80 m³/h.

De acordo com Cavalcante (1998) e Lemos (2018), a média de vida útil de um poço é 20 anos. Rebouças (1998), cita que a vida útil de poços oscila entre 15 e 20 anos. Enquanto a CPRM (1998), afirma que poços com bom nível técnico de implantação possuem vida útil superior a 20 anos. Foi adotada para esse estudo a vida útil de 20 anos.

As informações utilizadas na estimativa dos custos de captação de água encontram-se detalhadas nos apêndices B e C.

4.1.3. Dados para obtenção das curvas de demanda de água dos usuários

A função de demanda pela água mede os benefícios marginais associados à variação da quantidade do recurso, sendo assim, para estimar a função é necessário obter dados relacionados à quantidade total do recurso e os benefícios e custos econômicos associados (SILVA, 2015). A seguir são apresentados os dados utilizados.

- Abastecimento humano – Embasa

Os dados utilizados para a construção da curva de demanda do abastecimento humano foram obtidos na Série Histórica – Água e Esgotos do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, plataforma do Ministério do Desenvolvimento Regional. O ano mais recente com disponibilidade de dados é de 2018, considerado nessa metodologia. A Tabela 2 apresenta os dados utilizados.

Tabela 2 - Dados referentes ao abastecimento público da Adutora do Feijão

| Município | População total atendida com abastecimento de água (hab) | Volume de água faturado (m ³) | Tarifa média de água (R\$/m ³) | Despesa de exploração por m ³ faturado (R\$/m ³) |
|-----------------------|--|---|--|---|
| 1. América Dourada | 13.731 | 497.890 | 4,06 | 6,07 |
| 2. Barra do Mendes | 10.006 | 376.720 | 4,67 | 4,33 |
| 3. Barro Alto | 8.152 | 297.410 | 4,28 | 4,59 |
| 4. Cafarnaum | 12.315 | 429.670 | 4,39 | 4,2 |
| 5. Canarana | 21.393 | 778.430 | 4,27 | 4,54 |
| 6. Central | 16.437 | 623.470 | 4,59 | 4,13 |
| 7. Ibipeba | 14.893 | 574.430 | 4,45 | 4,48 |
| 8. Ibititá | 17.150 | 691.430 | 4,19 | 4,48 |
| 9. Irecê | 72.386 | 3.052.140 | 5,77 | 4,67 |
| 10. João Dourado | 22.203 | 787.530 | 4,72 | 4,19 |
| 11. Jussara | 15.234 | 540.160 | 4,26 | 3,97 |
| 12. Lapão | 26.671 | 981.030 | 4,48 | 4,33 |
| 13. Presidente Dutra | 15.068 | 586.250 | 4,48 | 4,08 |
| 14. São Gabriel | 17.698 | 640.520 | 4,76 | 4,54 |
| 15. Uibaí | 13.884 | 613.410 | 4,24 | 4,07 |
| 16. Itaguaçu da Bahia | 5.829 | 195.930 | 4,93 | 4,37 |

Fonte: Próprio autor com base SNIS (2018).

- Irrigação – Perímetro irrigado de Mirorós

Os dados da produção agrícola no Perímetro Irrigado de Mirorós (Tabela 3) foram obtidos junto à Codevasf. Foram considerados a produtividade, os custos totais, o preço médio da cultura e o volume de água consumido. Para o cálculo da curva de demanda utilizou-se apenas o cultivo de Banana do tipo Prata-anã, visto que essa cultura representou cerca de 90% do valor bruto da produção no ano de 2019.

Tabela 3 - Dados do cultivo de Banana prata-anã no Perímetro irrigado de Mirorós (2019)

| Tipo dos lotes | Área cultivada (ha) | Produção (t) | Produtividade (kg/ha) | Custo de produção (R\$/ha) | Preço (R\$/kg) |
|----------------|---------------------|--------------|-----------------------|----------------------------|----------------|
| Empresarial | 361,62 | 6062,54 | 16765 | 13.289,58 | 1,3029 |
| Familiar | 370,75 | 6302,75 | 17000 | 14.881,10 | 1,458932 |

Fonte: Próprio autor com base em CODEVASF (2020).

De acordo com Dourado (2020), técnico contratado pelo Escritório do Perímetro Irrigado de Mirorós, após a crise hídrica no reservatório, o perímetro irrigado teve que implementar medidas para redução de gastos, tais como suspender o levantamento de algumas informações de campo, incluindo o consumo de água por cultura. Sendo assim, não foi possível estimar a vazão de água demandada pelo cultivo de banana. Os dados fornecidos em relação ao consumo de água do perímetro (Tabela 4) referem-se a toda área irrigada. Dessa forma, para construção da curva de demanda do perímetro, utilizou-se o nível de uso total de água, captados no reservatório Mirorós e em poços de água subterrânea, durante o ano de 2019. Considerou-se essa estratégia com validade científica, visto que o objetivo da pesquisa é testar a metodologia de alocação de água abordando os aspectos econômicos, e não definir regras de alocação de água no reservatório Mirorós.

Tabela 4 - Volumes de água captados para o Perímetro irrigado de Mirorós

| Mês | Contribuição Poços Frutop (m³) | Contribuição Poços Dipim (m³) | Contribuição Reservatório Mirorós (m³) | Volume Total Bombeado P/ Irrigação (m³) |
|-----------|--------------------------------|-------------------------------|--|---|
| Janeiro | 96.544,00 | 191.683,00 | 807.872,00 | 1.096.099,00 |
| Fevereiro | 83.766,00 | 162.877,00 | 615.696,00 | 862.339,00 |
| Março | 79.194,00 | 130.621,00 | 603.940,00 | 813.755,00 |
| Abril | 86.501,33 | 151.670,00 | 679.728,67 | 917.900,00 |
| Mai | 70.627,00 | 291.767,00 | 757.107,00 | 1.119.501,00 |
| Junho | 78.442,00 | 386.416,00 | 520.507,00 | 985.365,00 |
| Julho | 116.074,00 | 436.414,00 | 391.217,00 | 943.705,00 |
| Agosto | 160.116,00 | 404.272,00 | 313.525,00 | 877.913,00 |
| Setembro | 168.144,00 | 463.480,00 | 238.402,00 | 870.026,00 |
| Outubro | 170.118,00 | 330.914,00 | 303.048,00 | 804.080,00 |
| Novembro | 110.944,00 | 280.194,00 | 646.620,00 | 1.037.758,00 |
| Dezembro | 145.583,00 | 373.381,00 | 429.901,00 | 948.865,00 |
| Total | 1.366.053,33 | 3.603.689,00 | 6.307.563,67 | 11.277.306,00 |

Fonte: Escritório DIPIM (2020).

- Irrigação difusa – irrigantes a jusante do reservatório

Devido à indisponibilidade de dados, não foi possível obter informações sobre receita e custos dos irrigantes que captam água no rio Verde a jusante do reservatório. Sendo assim, os dados econômicos da irrigação a jusante do reservatório foram estimados através de informações extraídas do Censo Agropecuário 2017 e da Produção Agrícola Municipal 2017, ambos estudos do IBGE, sendo utilizados dados dos dois municípios em que se localizam os irrigantes da área de estudo: Ibipeba e Itaguaçu da Bahia. Esses dados são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Dados da produção agrícola nos municípios de Ibipeba e Itaguaçu da Bahia.

| Município | Área destinada à colheita (ha) ¹ | Valor da produção (R\$) ¹ | Valor das despesas dos estabelecimentos agropecuários (Ibipeba) (R\$) ² |
|-------------------|---|--------------------------------------|--|
| Ibipeba | 6.289 | 35.987.000 | 29.599.000 |
| Itaguaçu da Bahia | 1.375 | 16.533.000 | 8.473.000 |

Fonte: Próprio autor com base em IBGE (2017).

Notas: ¹ Dados da Produção Agrícola Municipal referentes ao ano de 2017 / ² Dados do Censo Agropecuário referentes ao ano de 2017.

Foram utilizados os dados de outorga de uso da água a jusante do reservatório Mirorós, obtidos através de ofício de solicitação à entidade reguladora estadual, o INEMA. De acordo com o Marco Regulatório da Alocação de Água no Mirorós (ANA, 2017e), os usos a jusante que o reservatório deve garantir estendem-se até o trecho do rio que faz confluência com o riacho da Conceição. Através das informações de outorgas repassadas pelo INEMA, a vazão anual outorgada para irrigação a jusante do reservatório até a confluência com o riacho da Conceição corresponde a um total de aproximadamente 112 l/s, destinados à irrigação de 28,4 hectares no município de Ibipeba e 184,2 hectares no município de Itaguaçu da Bahia. As informações detalhadas das outorgas são apresentadas no tópico 4.1.5. “Outorgas de uso da água”.

4.1.4. Dados hidrológicos

Para a construção do modelo de rede de fluxo do sistema hídrico Mirorós no *software* AcquaNet são necessários alguns dados hidrológicos que influenciam na operação do reservatório. Esses dados foram divididos em características físicas e operacionais do reservatório, vazões afluentes ao reservatório e taxa de evaporação.

- Características físicas e operacionais do reservatório

As características físicas e operacionais do reservatório envolvem a curva cota-área-volume (CAV) e os volumes operacionais do reservatório. As curvas CAV fornecem a área do espelho d’água e o volume do reservatório de acordo com o nível da água. A curva CAV do reservatório

Mirrorós (Tabela 6) foi obtida a partir do Nota Técnica nº 13/2017/COMAR/SER (Marco Regulatório da Alocação de água no Mirrorós) publicada pela ANA em 09 de março de 2017.

Tabela 6 - Curva cota-área-volume do reservatório Mirrorós

| Cota (m) | Área (km ²) | Volume (Mm ³) |
|----------|-------------------------|---------------------------|
| 489.000 | 0.000 | 0.000 |
| 492.000 | 0.500 | 4.000 |
| 495.000 | 0.930 | 7.190 |
| 496.000 | 1.070 | 8.590 |
| 498.000 | 1.360 | 11.740 |
| 500.000 | 1.670 | 15.590 |
| 502.000 | 2.010 | 20.110 |
| 506.000 | 2.830 | 31.120 |
| 507.760 | 3.170 | 36.800 |
| 510.000 | 3.420 | 44.900 |
| 512.000 | 3.820 | 53.210 |
| 514.000 | 4.250 | 62.130 |
| 516.000 | 4.670 | 71.040 |
| 518.000 | 5.100 | 79.950 |
| 520.000 | 5.520 | 88.860 |
| 522.000 | 5.900 | 101.690 |
| 524.000 | 6.270 | 114.520 |
| 526.000 | 6.650 | 127.360 |
| 530.000 | 7.400 | 153.020 |
| 532.000 | 7.800 | 166.920 |

Fonte: Adaptado de ANA (2017e).

Os volumes operacionais do reservatório utilizados para a modelagem no AcquaNet são apresentados na Tabela 7. O volume inicial refere-se ao volume no mês de início da simulação realizada no AcquaNet (maio de 2013).

Tabela 7 - Volumes operacionais do reservatório Mirrorós

| Volume operacional | Volume (Mm ³) | Referência |
|--------------------|---------------------------|---|
| Mínimo | 4.000 | Nota Técnica nº 13/2017/COMAR/SER - ANA |
| Máximo | 166.920 | Nota Técnica nº 13/2017/COMAR/SER - ANA |
| Inicial - Mai/2013 | 9.860 | Sistema de Acompanhamento de Reservatório – ANA |

Fonte: ANA (2017e).

- Vazões afluentes ao reservatório

Através do portal HidroWeb, plataforma que integra o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), são disponibilizados dados coletados pela Rede Hidrometeorológica Nacional, no entanto não se dispõem de dados das vazões afluentes ao reservatório.

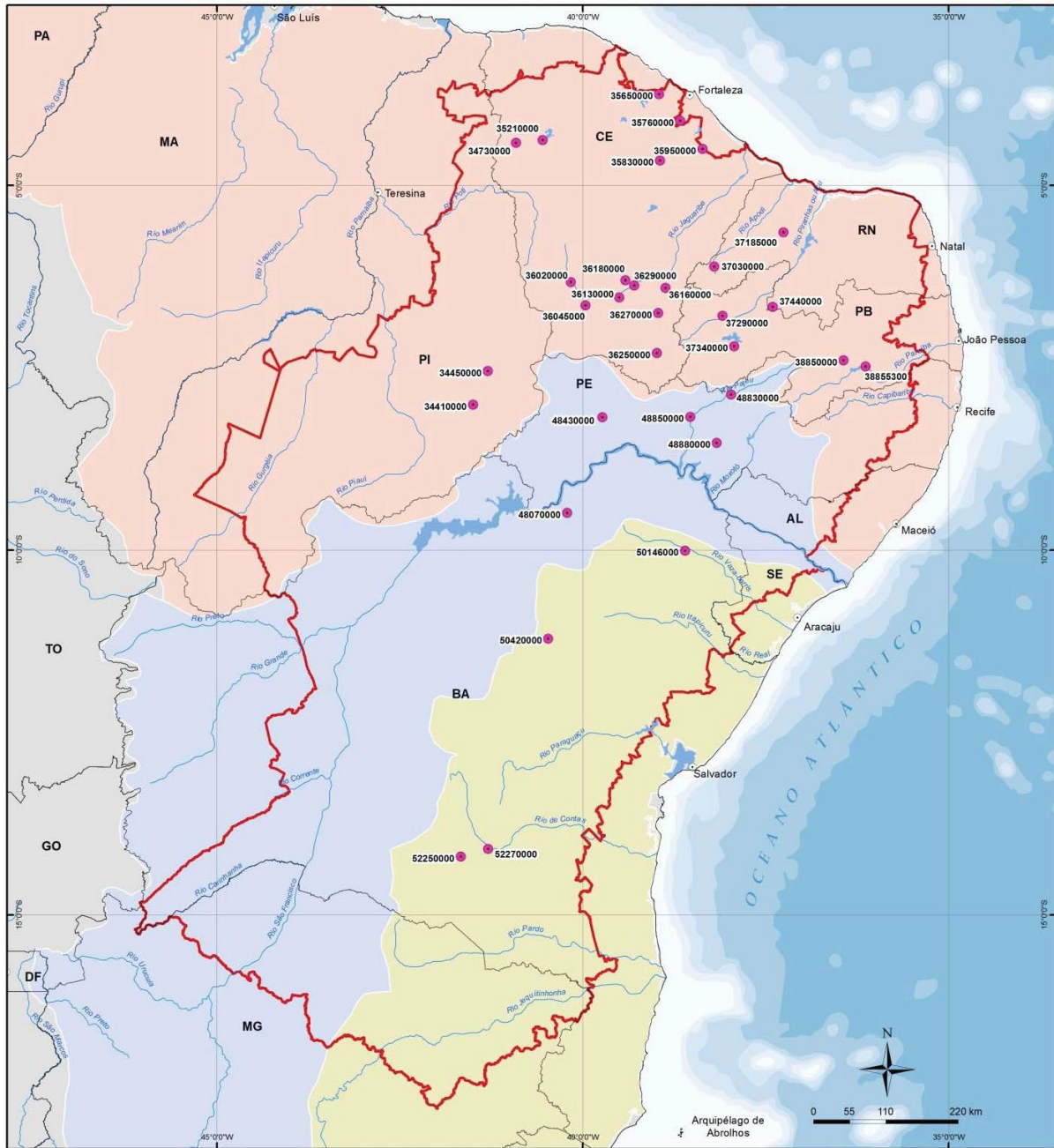
A Coordenação de Estudos Hidrológicos (COHID) da Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos (SPR) da ANA disponibilizou os dados das vazões mensais afluentes ao reservatório Mirrorós de 1913 a 2013 determinadas via modelagem chuva-vazão no âmbito do estudo “Reservatórios do Semiárido Brasileiro: hidrologia, balanço hídrico e operação”.

Observou-se que os dados de vazões de anos mais recentes representam grandes entradas de água no reservatório, o que corresponde à ausência de conflitos entre os usos, e que não representa a realidade atual do sistema.

O modelo utilizado nesse estudo foi o Modelo Hidrológico Auto Calibrável (MODHAC), desenvolvido e calibrado para a região semiárida brasileira. No entanto, observou-se que as estações fluviométricas utilizadas para calibração e validação do modelo encontram-se principalmente fora do estado da Bahia, conforme mostra a Figura 15, sendo utilizadas apenas 5 estações dentro do território baiano, o que pode ter influenciado nas vazões geradas.

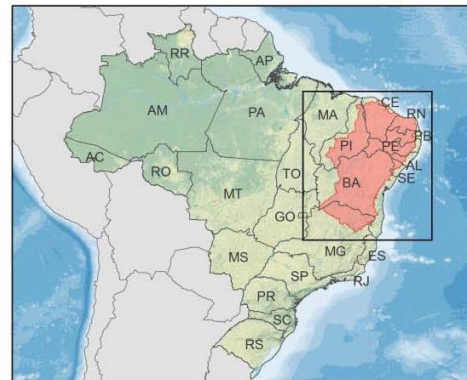
A ANA utiliza os dados de vazões mensais afluentes ao reservatório Mirorós de 1931 e 1932 geradas no estudo para definir os estados hidrológicos e os cenários de alocações de água. Isso porque esse período compreende o pior biênio de vazões afluentes ao reservatório. A ANA justifica a escolha do pior biênio em função da baixa capacidade de recuperação do reservatório e devido aos resultados das vazões permanentes mensais com garantias de 90% e 95%, que apresentaram valores nulos.

Figura 15 - Distribuição espacial dos postos fluviométricos (HIDROWEB) utilizados na calibração/validação do MODHAC



Legenda

- Capitais Estaduais
 - ▭ Limites Estaduais
 - Estações Selecionadas
 - ▭ Limite do Semiárido
 - Hidrografia
 - ☁ Massa d'água
- Regiões Hidrográficas**
- Atlântico, Trecho Leste
 - Atlântico, Trecho Norte/ Nordeste
 - Rio São Francisco



Fonte: ANA (2017b).

A fim de obter dados mais recentes, optou-se por realizar o balanço hídrico mensal do reservatório, sendo a variável dependente o volume afluente (V_{af}), e assim obter dados de vazões afluentes a serem inseridos no AcquaNet, como mostram as equações a seguir. Ressalta-se que, como nunca houve vertimento no reservatório, não foi considerada a variável volume vertido no cálculo.

$$\Delta V = V_f - V_i = V_{af} + P - E - V_{cap} \rightarrow$$

$$V_{af} = V_f + VE * A + V_{cap} - V_i - VP * A \quad (3)$$

As variáveis são descritas no Quadro 6.

Quadro 6 - Referência dos dados utilizados pra o balanço hídrico mensal

| Variáveis | | Observação | Referência |
|-----------|--|---|--|
| V_i | Volume inicial do reservatório | Valor referente à medição no início do mês | Sistema de Acompanhamento de Reservatórios/ANA |
| V_f | Volume final do reservatório | Valor referente à medição do início do mês seguinte | Sistema de Acompanhamento de Reservatórios/ANA |
| VE | Vetor Evaporação | Vetor de evaporação mensal gerado pela ANA em estudo dos reservatórios (Tabela 8) | Reservatórios do Semiárido Brasileiro: hidrologia, balanço hídrico e operação. (ANA, 2017b) |
| VP | Vetor Precipitação | Vetor de precipitação gerado pela ANA em estudo dos reservatórios (Tabela 9) | Reservatórios do Semiárido Brasileiro: hidrologia, balanço hídrico e operação. (ANA, 2017b) |
| A | Área alagada | Obtida através da curva Cota-Área-Volume disponibilizada pela ANA; e das cotas do reservatório disponíveis no Sistema de Acompanhamento de Reservatórios. | CAV: disponibilizada via-email pela Coordenação de Estudos Hidrológicos (ANA) Cotas: Sistema de Acompanhamento de Reservatórios (ANA) |
| V_{cap} | Volume captado no reservatório (2015 a 2020) | Abastecimento humano: vazões mensais captadas pela Embasa a partir de agosto de 2015. | Boletins de acompanhamento da alocação de água no Mirorós (2015 a 2020) |
| | | Perímetro irrigado de Mirorós: vazões mensais captadas a partir de maio de 2017. | Dados disponibilizados via e-mail pelo Escritório do DIPIM. |
| | | Usos a jusante e vazão remanescente: medição das vazões defluentes ao reservatório a partir de maio de 2018. | Boletins de acompanhamento da alocação de água no Mirorós (2015 a 2020) |

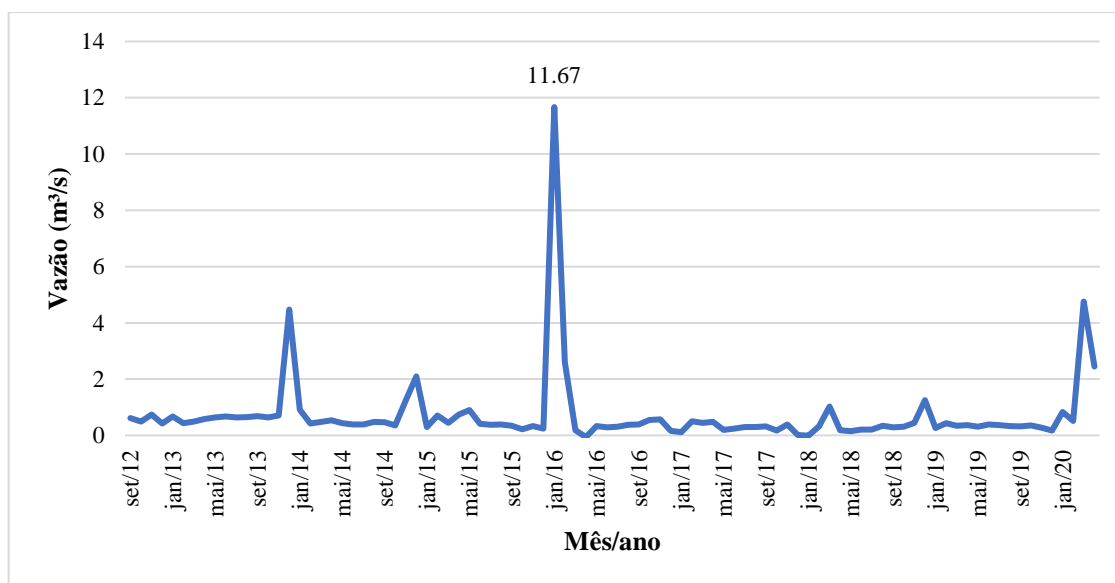
Fonte: Próprio autor (2020).

Observa-se que os dados volumes de água captados no reservatório não representam todo o período estudado (2013 a 2020). Os volumes captados para o abastecimento humano, foram solicitados à Embasa através de ofício, no entanto não apresentaram retorno até a finalização dessa pesquisa. Os volumes captados para o Perímetro Irrigado foram solicitados ao Escritório

do DIPIM, porém o mesmo só dispõe de dados a partir do mês de maio de 2017. Dessa forma, foi necessário adotar algumas estratégias para compor os volumes captados no Balanço Hídrico. No período anterior aos dados de alocação negociada de água realizada pela ANA (mai/2013 a jul/2015), adotaram-se os volumes captados iguais aos volumes alocados do Termo de Alocação de Água 2015/2016, visto que durante todo o período o reservatório apresentou-se no mesmo estado hidrológico (EH vermelho). Para os meses em que existem boletins de acompanhamento da alocação, mas que não se têm dados de medição das vazões, foram utilizados os valores alocados referentes ao mês em questão, partindo-se do pressuposto que os volumes alocados estabelecidos nas reuniões de negociação foram captados pelos usuários. As falhas presentes nesses dados diminuem a confiabilidade na obtenção das vazões afluentes através do balanço hídrico do reservatório, porém não impedem que sejam utilizados na avaliação da metodologia de implementação da abordagem hidroeconômica na alocação de água.

Os dados do balanço hídrico mensal do reservatório são apresentados no Apêndice A, e o comportamento das vazões médias afluentes ao reservatório resultantes do balanço hídrico é apresentado a seguir na Figura 16.

Figura 16 - Vazões médias mensais afluentes ao reservatório - Próprio autor (2013-2020)

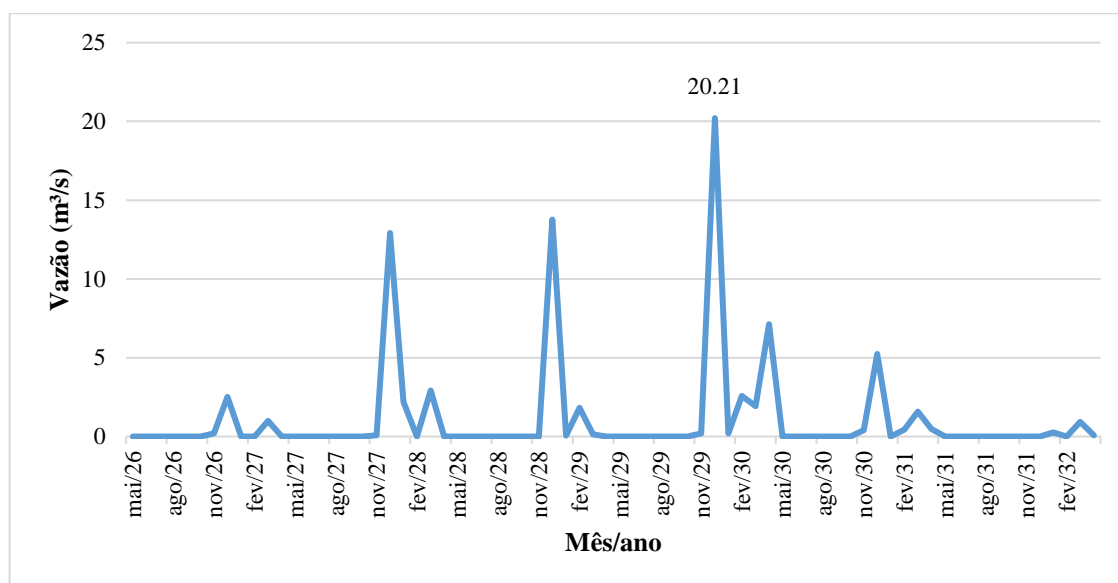


Fonte: Próprio autor com base em ANA (2020).

Devido às dificuldades encontradas na obtenção das vazões afluentes pelo balanço hídrico, decidiu-se ainda realizar a modelagem com as vazões afluentes mensais geradas pela ANA, contendo o pior biênio de vazões. Dessa forma, escolheu-se o período de maio de 1926 a abril de 1933, para fins de comparação dos resultados. Para tanto, as vazões foram realocadas

temporalmente para o período de 2013 a 2020. Vale destacar que não é possível fazer essa análise comparativa com o mesmo intervalo de anos, visto que os dados gerados pela ANA se estendem até o ano de 2013 e o histórico de volumes do reservatório anterior ao ano de 2013 apresenta diversas falhas, impedindo a estimativa do balanço hídrico. O comportamento das vazões afluentes ao reservatório de 1926 a 1933 é apresentado na Figura 17 e as vazões seguem detalhadamente no Anexo A.

Figura 17 - Vazões médias mensais afluentes ao reservatório – ANA (1926-1933)



Fonte: Próprio autor com base em ANA (2020).

As vazões estimadas para o período de 2013-2020 (Figura 16) apresentaram baixa disponibilidade hídrica, com vazão média do período igual a 0,71 m³/s e vazão máxima de 11,67 m³/s. Observam-se, nesse período, estiagens mais prolongadas e poucos picos de vazão. Enquanto o período de vazões geradas pela ANA de 1926 a 1933 (Figura 17) possui disponibilidade hídrica melhor, com anos secos intercalados com anos chuvosos, e mais ao final da série, um período seco mais prolongado. A vazão máxima desse período foi de 20,21 m³/s e vazão média igual a 1,10 m³/s. Ainda assim, esse período apresenta criticidade nas demandas, observando diversos meses com vazões nulas.

O vetor evaporação (Tabela 8) utilizado no estudo e apresentado pela ANA foi obtido através da interpolação de dados de evaporação total de estações cadastradas nas Normais Climatológicas do Brasil (período 1961-1990) do INMET.

Tabela 8 - Evaporação mensal (mm) no reservatório Mirorós

| Mês | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez |
|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Evaporação (mm) | 165 | 147 | 150 | 147 | 167 | 189 | 228 | 276 | 293 | 289 | 233 | 178 |

Fonte: Adaptado de ANA (2017b).

Já o vetor precipitação utilizado e também elaborado pela ANA foi obtido através da interpolação de dados da precipitação acumulada (INMET) e dos postos pluviométricos (HidroWeb), apresentado na Tabela 9.

Tabela 9 - Precipitação mensal (mm) no reservatório Mirorós

| Mês | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez |
|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Evaporação (mm) | 94 | 82 | 95 | 43 | 7 | 2 | 2 | 1 | 12 | 36 | 124 | 132 |

Fonte: Adaptado de ANA (2017b).

4.1.5. Outorgas de uso da água

De acordo com a ANA (2020b), as outorgas de uso das águas armazenadas em reservatórios geridos por entidades federais são de responsabilidade da ANA, como é o caso do reservatório Mirorós, que é administrado pela CODEVASF. Sendo assim, as outorgas de uso da água foram obtidas em planilha eletrônica disponibilizada pela ANA. As outorgas apresentadas estão dispostas no Quadro 7.

Quadro 7 - Outorgas de uso da água emitidas para o reservatório Mirorós

| Resolução | Requerente | Finalidade principal | Latitude | Longitu de | Data de Publicação | Data de Vencimento | Volume anual (m ³) | Vazão média anual (m ³ /s) |
|-----------|--|-----------------------|----------|------------|--------------------|--------------------|--------------------------------|---------------------------------------|
| 1348/208 | Empresa Baiana de Águas e Saneamento | Abastecimento Público | -11,4594 | - 42,3458 | 12/09/2018 | 12/09/2028 | 8.768.059 | 0,278 |
| 983/2017 | Distrito de Irrigação do Perímetro Irrigado de Mirorós | Consumo Humano | -11,4587 | - 42,3552 | 08/06/2017 | 08/06/2027 | 27.495 | 0,0008 |
| 983/2017 | Distrito de Irrigação do Perímetro Irrigado de Mirorós | Irrigação | -11,4587 | - 42,3552 | 08/06/2017 | 08/06/2027 | 27.467.505 | 0,871 |
| 872/2013 | Empresa Baiana de Águas e Saneamento | Abastecimento Público | -11,4634 | - 42,3564 | 05/07/2013 | 05/07/2014 | 8.672.400 | 0,275 |
| 274/2010 | Empresa Baiana de Águas e Saneamento | Abastecimento Público | -11,4601 | - 42,3439 | 04/06/2010 | 04/06/2013 | 14.454.000 | 0,458 |

Fonte: Adaptado de ANA (2020).

De acordo com a Nota Técnica referente ao Marco Regulatório de Alocação de Água no sistema hídrico Mirorós, os usos associados ao reservatório Mirorós e suas respectivas vazões médias anuais são apresentados no Quadro 8.

Quadro 8 - Usos associados ao reservatório e respectivas vazões médias anuais

| Usos associados ao reservatório | | Vazão média anual (l/s) | Referência |
|----------------------------------|---|-------------------------|-------------------------------|
| Usos outorgáveis no reservatório | Abastecimento público – SIAA rio Verde (Irecê e região) – Adutora do Feijão | 458 | Resolução ANA nº 274/2010 |
| | Irrigação no Perímetro Irrigado Mirorós | 871 | Declaração CNARH nº273062 |
| Usos outorgáveis a jusante | Usos a jusante até a confluência com o riacho da Conceição | 180 | Nota Técnica INEMA nº 34/2016 |
| Perenização do rio Verde | Perenização do rio Verde até a confluência com o Riacho Santana | 70 | Estimativa COMAR |
| Total | | 1.579 | - |

Fonte: Adaptado de ANA (2017e).

Ressalta-se que a vazão média anual da captação de água do reservatório para a Embasa refere-se à outorga anterior, sendo que, atualmente, a vazão média anual foi reduzida para 278 l/s, devido à captação de água no rio São Francisco. Atualmente a Embasa possui outorga de 657 l/s no rio São Francisco para abastecimento do SIAA de Irecê através da Resolução nº 1.235/2018, publicada em 22/08/2018 e válida até 22/08/2028, de acordo com ANA (2020b).

Foram utilizados ainda dados de outorga de uso da água a jusante do reservatório Mirorós (Quadro 9), obtidos junto ao INEMA. A vazão anual outorgada para irrigação a jusante do reservatório até a confluência com o riacho da Conceição corresponde a 112 l/s.

Quadro 9 - Vazões outorgadas a jusante do reservatório até a confluência com o Riacho da Conceição

| Processo | Portaria | Validade Portaria | Vazão (m ³ /dia) | Município | Área Irrigada (ha) | Manancial |
|--------------------------------------|----------|-------------------|-----------------------------|-------------------|--------------------|-----------|
| 9994/09 | 47/2010 | 11/01/2014 | 612,0 | Ibipeba | 11,5 | rio Verde |
| 7279/08 | 785/09 | 14/10/2013 | 369,0 | Ibipeba | 6,0 | rio Verde |
| 5359/05 | 008/06 | 05/01/2010 | 313,0 | Ibipeba | 6,9 | rio Verde |
| 1545/99 | 277/07 | 26/05/2011 | 356,0 | Ibipeba | 4,0 | rio Verde |
| 5078/95 | 111/10 | 04/02/2014 | 620,0 | Itaguaçu da Bahia | 16,0 | rio Verde |
| 2014.001.000704/ INEMA /LIC-00704 | 351/09 | 26/05/2013 | 1.280,0 | Itaguaçu da Bahia | 22,3 | rio Verde |
| 4793/04 | 530/08 | 12/12/2012 | 149,0 | Itaguaçu da Bahia | 4,1 | rio Verde |
| 2008-000369/ OUT/AUT-0218 | 11975/16 | 05/07/2020 | 1.309,0 | Itaguaçu da Bahia | 30,0 | rio Verde |
| 4286/04 | 616/04 | 25/08/2008 | 954,0 | Itaguaçu da Bahia | 22,4 | rio Verde |
| 10806/10 | 696/10 | 13/09/2014 | 1.479,0 | Itaguaçu da Bahia | 42,0 | rio Verde |
| 8480/09 | 426/09 | 13/06/2013 | 645,0 | Itaguaçu da Bahia | 22,4 | rio Verde |
| 5720/06 | 596/06 | 10/10/2010 | 1.173,0 | Itaguaçu da Bahia | 20,0 | rio Verde |
| 112/96 | 95/10 | 02/02/2014 | 377,0 | Itaguaçu da Bahia | 5,0 | rio Verde |
| 7091/08 | 276/08 | 12/06/2012 | 264,0 | Itaguaçu da Bahia | Ab. Humano | rio Verde |

Fonte: Adaptado de INEMA (2020).

Uma grande limitação desses dados refere-se à validade da portaria, visto que as outorgas emitidas pela entidade reguladora estadual estão com prazos de validade vencidos. Em um estudo de caso, Silva (2016) discute a validade das outorgas de usuários, visto que quando se analisam outorgas vencidas em sua área de estudo, os usos referem-se à irrigação e geralmente com altos valores de vazões, sendo assim é pouco provável que após o vencimento da outorga os usuários tenham deixado de captar água. Dessa forma, caso as outorgas vencidas sejam desconsideradas, a utilização de água estaria sendo subestimada no balanço hídrico. Partindo-se desse pressuposto, na presente metodologia foram considerados todos os usuários com outorgas, independentemente do período de vigência da mesma.

4.2. ANÁLISE DAS ATUAIS CONDIÇÕES DE USO DA ÁGUA NO SISTEMA HÍDRICO

A análise das condições de uso da água atualmente praticadas terá como base as legislações vigentes para a alocação de água no reservatório Mirorós. Essa análise será realizada a partir da Matriz SWOT.

A matriz SWOT é uma avaliação dos ambientes externos e internos, que possibilita a identificação de questões críticas e alternativas estratégicas (LARSON, 2016). SWOT é um acrônimo para as palavras: *Strengths, Weaknesses, Opportunities e Threats*, que significam, respectivamente, Forças, Fraquezas, Oportunidades e Ameaças. A análise SWOT é amplamente empregada nas áreas de planejamento estratégico e áreas administrativas, porém, devido à sua fácil aplicação e versatilidade, tem sido utilizada em diversas áreas da ciência, desde uso e ocupação do solo até o campo do turismo (ALOVISI JR. e BEREZUK, 2012).

A partir da análise SWOT, é possível conhecer os fatores que auxiliam ou dificultam no alcance de determinado objetivo dentro de uma organização ou processo. De acordo com a ANA (2013b), as forças e as fraquezas estão relacionadas aos fatores internos, enquanto as oportunidades e as ameaças associam-se aos fatores externos, antecipando o futuro. Esses fatores externos não podem ser controlados, no entanto é necessário conhecê-los e monitorá-los, a fim de responder a esses fatores de forma preventiva ou adaptativa. Na identificação de pontos fracos e ameaças, devem ser tomadas ações a fim de controlar ou minimizar os seus efeitos.

Sendo assim, foram avaliados os fatores internos e externos que contribuem no processo de alocação de água no reservatório Mirorós, seja de forma positiva ou de forma negativa. A Figura 18 apresenta o modelo de uma Matriz SWOT.

Figura 18 - Matriz SWOT



Fonte: Próprio autor (2020).

4.3. CONSTRUÇÃO DAS CURVAS DE DEMANDA DE ÁGUA DOS USUÁRIOS DO RESERVATÓRIO MIRORÓS

Ao realizar a Análise Econômica no *software* AcquaNet é necessário inserir as curvas de demandas econômicas obtidas externamente. Essa curva deve relacionar benefício marginal e a quantidade de água. No AcquaNet, utiliza-se a curva de benefício marginal na forma de uma função exponencial decrescente, do tipo:

$$P = a \times e^{-b \times Q} \quad (4)$$

Onde 'P' é o benefício marginal em \$/(m³/s), 'Q' é a vazão em m³/s e 'a' e 'b' são coeficientes da curva exponencial.

Os coeficientes podem ser facilmente obtidos a partir de dois pontos conhecidos da curva. Dados os pontos (P₁, Q₁) e (P₂, Q₂) é possível utilizar procedimentos simples de substituição e obter os coeficientes a partir das seguintes equações:

$$a = \frac{P_1}{\exp\left(\frac{\ln\left[\frac{P_1}{P_2}\right]}{1 - \frac{Q_2}{Q_1}}\right)} \quad (5)$$

$$b = \frac{\ln\left[\frac{P_1}{P_2}\right]}{Q_2 - Q_1} \quad (6)$$

Quando não se têm dois pontos conhecidos na função, mas se conhece um ponto (P₁, Q₁) e a elasticidade-preço da demanda (ε) também é possível obter os coeficientes 'a' e 'b'. No item 2.2.1 (Elasticidade-preço da demanda), foi visto que a elasticidade é dada pela equação:

$$\epsilon = \frac{\frac{dw}{dp} \cdot p}{w} \quad (7)$$

Ressalta-se que “w” é a quantidade de água, ou seja, a vazão Q. Logo, é possível obter a função Q (p) a partir da equação 4 e sua derivada. Tem-se então:

$$Q = \frac{-\ln \frac{p}{a}}{b} \rightarrow \frac{dQ}{dP} = \frac{-1}{b \times P} \quad (8)$$

A partir das equações 7 e 8, obtém-se:

$$\epsilon = \frac{-1}{b \times Q} \quad (9)$$

Sendo assim, obtêm-se os coeficientes “a” e “b” em função da elasticidade:

$$a = \frac{P_1}{\exp\left[\frac{1}{\epsilon}\right]} \quad (10)$$

$$b = \frac{-1}{\epsilon \times Q} \quad (11)$$

A partir das equações anteriores foram estimadas as curvas de demanda para o abastecimento humano, para o perímetro irrigado de Mirorós e para os irrigantes a jusante do reservatório. Nesse método determina-se a curva de demanda de cada usuário a partir da expansão de um ponto conhecido, método denominado de expansão do ponto. A grande limitação desse método está relacionada à utilização da elasticidade como um valor constante, podendo ocasionar super ou subestimação do valor da água em pontos distantes do ponto de operação utilizado como base para a estimativa da curva.

4.3.1. Determinação da elasticidade-preço da demanda

No método da expansão do ponto, a elasticidade-preço da demanda deve ser obtida externamente ao método. Para oferecer maior confiabilidade ao estudo, esse parâmetro deve representar a área que estiver sendo estudada. O método utilizado para estimar a elasticidade-preço demanda no presente trabalho foi a função de demanda “tudo ou nada”.

A função de demanda “tudo ou nada” é obtida através de dois pares de pontos (preço e quantidade) que revelam o custo de oportunidade da água para cada usuário, também denominado preço de reserva. De acordo com Carrera-Fernandez e Garrido (2002), o preço de reserva é o maior valor que o usuário estaria disposto a pagar e permanecer indiferente entre continuar utilizando a água do atual manancial ou buscar uma alternativa que lhe ofereça menor

custo. Os autores ressaltam que o preço de reserva representa uma estimativa legítima do valor social da água.

A curva de demanda “tudo ou nada” é a curva média da primitiva da função de demanda ordinária por água (GARRIDO, 2018), como é demonstrado a seguir. Em Carrera-Fernandez e Garrido (2002), a curva de demanda ordinária é dada por:

$$p_j = p_j(x_j), \text{ com } \frac{dp_j(x_j)}{dx_j} < 0 \quad (12)$$

Onde x_j é a quantidade demandada de água pelo usuário j , e p_j é o preço da água no uso j . A coordenada vertical representa a disposição a pagar, ou seja, o maior preço que o usuário estar disposto a pagar para uma determinada quantidade.

O preço de reserva é então determinado pela integral definida da função de demanda ordinária no intervalo entre zero e a vazão demandada dividida por essa vazão, logo:

$$p_j^r(x_j) = \frac{1}{x_j} \int_0^{x_j} p_j(x_j) dx_j \quad (13)$$

A expressão pode ser reescrita da seguinte forma:

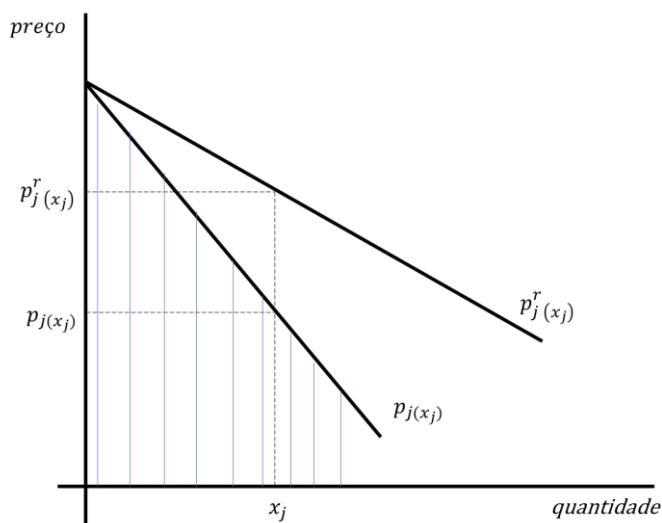
$$p_j^r(x_j) x_j = \int_0^{x_j} p_j(x_j) dx_j \quad (14)$$

Por fim, obtém-se a função ordinária a partir da derivada da função “tudo ou nada”.

$$\frac{d[p_j^r(x_j) x_j]}{dx_j} = p_j(x_j) \quad (15)$$

O resultado da integral definida é o máximo valor que o usuário estaria disposto a pagar e continuar indiferente entre pagar o preço e ter acesso à água demandada ou não dispor da mesma (CARRERA-FERNANDEZ & GARRIDO, 2002). A relação entre as curvas de demanda ordinária e “tudo ou nada” pode ser compreendida graficamente, sendo que a integral é representada pela área hachurada no gráfico, área abaixo da função de demanda ordinária (Figura 19).

Figura 19 – Funções de demanda ordinária e “tudo ou nada”



Fonte: Carrera-Fernandez e Garrido (2002)

Os preços de reserva de cada usuário são estimados a partir de uma situação hipotética em que se interrompe a oferta de água do manancial utilizado, e os usuários são forçados a buscarem soluções alternativas. Buscam-se então duas alternativas de menor custo, que representarão dois pontos da curva “tudo ou nada”.

A curva de demanda “tudo ou nada” é a curva média da receita total. E obtém-se a curva de receita marginal a partir da derivação da curva “tudo ou nada”, ou seja, a demanda ordinária. Conhecida essa última função é possível calcular a elasticidade-preço da demanda no ponto que se refere à vazão demandada por cada usuário.

Existem diversas alternativas para substituição da fonte de água utilizada, sendo as mais procuradas: importação de água de outras bacias, captação de água subterrânea ou aquisição de água em carros-pipa (GARRIDO, 2018).

Dentre as possíveis alternativas, para o uso do abastecimento humano adotou-se a implantação de poços tubulares para captação de água subterrânea, e a implantação de uma adutora de água bruta transportando água do leito principal do rio São Francisco, no município de Xique-Xique, até o município de Irecê, onde concentra-se a maior parte da população atendida pelo SIAA.

Para os usuários da irrigação, inicialmente foi pensado em adotar uma alternativa que encontrasse em projeto: a adução da água do Baixio de Irecê até o Perímetro Irrigado de Mirorós. Os custos para o projeto foram levantados junto à empresa responsável. No entanto, por apresentar uma vazão de projeto cinco vezes maior que a demanda desse estudo, o projeto apresentou uma estrutura mais robusta do que a necessária, resultando em valores de elasticidades que não são encontrados na prática. Dessa forma, estudou-se mais duas alternativas à captação de água no

reservatório de Mirorós, a primeira foi a construção de uma adutora de água bruta com captação no leito principal do rio São Francisco (município de Xique-Xique), passando pelo município de Itaguaçu da Bahia e chegando até o perímetro irrigado de Mirorós, onde concentra-se a maior demanda de água para a irrigação; e a segunda alternativa adotada, já utilizada como captação complementar pelo DIPIM, foi a captação de água subterrânea.

Admitiu-se que os custos de cada alternativa são a disposição a pagar do usuário, ou seja, os preços de reservas que compõem a curva “tudo ou nada”. Ressalta-se que é importante considerar que tal estimativa de custos apresentam incertezas. Por exemplo, como citado por Fernandez *et al* (2007), os valores das curvas de custos, que foram utilizadas para determinação dos custos de captação de água superficial, não substituem orçamentos específicos das obras. No entanto, definiu-se a metodologia adequada ao presente estudo, visto que o objetivo do mesmo não é avaliar a alocação de água na área de estudo, mas sim avaliar a implementação da abordagem hidroeconômica em processos de alocação de água.

4.3.2. Estimativa do benefício marginal para o abastecimento humano

A curva de demanda para o abastecimento humano foi obtida a partir de dados da concessionária de água, disponíveis no Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento Básico.

O ponto de partida utilizado para a estimativa da curva corresponde ao volume anual de água pelos municípios (Q_1) e ao benefício líquido anual dos municípios (P_1), obtidos pelas equações 16 e 17, respectivamente.

$$Q_1 = \sum_{i=1}^M VF_i \quad (16)$$

Onde: Q_1 é a vazão de água em m^3 /ano, VF é o volume de água faturado no ano em m^3 e o conjunto M compreende os municípios abastecidos pelo sistema.

$$P_1 = \sum_{i=1}^M \frac{(TMA_i - DEF_i) Pop_i}{Pop_{Tot}} \quad (17)$$

Onde P_1 é o benefício líquido anual em $R\$/m^3$ /ano, TMA é a tarifa média de água praticada em $R\$/m^3$, DEF é a despesa de exploração por m^3 faturado em $R\$/m^3$, Pop é a população do município atendida com abastecimento de água, e Pop_{Tot} é o total da população atendida por abastecimento de água nos municípios do conjunto M .

Para inserção das curvas de benefício marginal no modelo Acquanet, foi realizada a transformação para as unidades “m³/s” para a vazão e “1000R\$/(m³/s)” para o benefício marginal.

Ressalta-se que foram determinadas duas curvas de benefício marginal para esse setor. A primeira curva foi calculada para os municípios abastecidos pelo reservatório Mirorós, antes da implantação da adutora do rio São Francisco, sendo estes: América Dourada, Barra do Mendes, Barro Alto, Cafarnaum, Canarana, Central, Ibipecta, Ibititá, Irecê, João Dourado, Jussara, Lapão, Presidente Dutra, São Gabriel e Uibaí. E a segunda curva de benefício relaciona todos os municípios citados e ainda o município da Itaguaçu da Bahia, visto que esse município passou a integrar o SIAA de Irecê apenas após a construção da adutora do rio São Francisco.

4.3.3. Estimativa do benefício marginal para o perímetro irrigado

O ponto de partida utilizado para a estimativa da curva de demanda do perímetro irrigado corresponde ao volume anual de água captado pelo perímetro irrigado de Mirorós (Q_1) e ao benefício líquido anual do cultivo de banana (P_1), obtidos pelas equações 18 e 19, respectivamente.

$$Q_1 = V_{cap_{Mirorós}} + V_{cap_{poços}} \quad (18)$$

Onde: Q_1 é a vazão de água em m³/ano, $V_{cap_{Mirorós}}$ é o volume de água captado no ano no reservatório Mirorós em m³/ano, e $V_{cap_{poços}}$ é o volume de água subterrânea extraída no ano como alternativa de abastecimento para o perímetro.

$$P_1 = \frac{(Prod * Preço - CM) * AC}{V_{cap_{Mirorós}} + V_{cap_{poços}}} \quad (19)$$

Onde P_1 é o benefício líquido anual em R\$/(m³/ano), $prod$ é a produtividade da cultura kg/ha; $preço$ é o preço médio da cultura em R\$/kg, CM é o custo médio variável em R\$/ha e AC é área cultivada em ha.

É importante ressaltar que no perímetro irrigado de Mirorós são cultivadas outras variedades agrícolas, tais como manga, mamona, pinha, entre outros. Porém, para essa estimativa, utilizaram-se apenas os dados de cultivo de bananas prata-anã, visto que essa cultura, conforme já mencionado, representa cerca de 90% do valor bruto da produção.

4.3.4. Estimativa do benefício marginal para os irrigantes a jusante

A estimativa das curvas de demanda para os irrigantes a jusante inicia-se com uma grande limitação de dados, visto que não se dispõem dos dados de custos e receitas desses produtores. Também não se dispõem dos dados relacionados ao tipo de cultura e tipo de sistema de irrigação dessas áreas para estimativa dos dados econômicos.

Sendo assim, os dados econômicos da irrigação a jusante do reservatório foram estimados através de informações extraídas do Censo Agropecuário 2017 e da Produção Agrícola Municipal 2017, ambos do IBGE, sendo utilizados dados dos dois municípios em que se localizam os irrigantes da área de estudo: Ibipeba e Itaguaçu da Bahia. Para isto, foi necessário estimar o ganho líquido médio nesses municípios (equação 20).

$$GL = \frac{(VP-VD)}{AC} \quad (20)$$

Onde GL é o ganho líquido médio em R\$/ha, VP é o valor da produção em R\$, VD é o valor das despesas dos estabelecimentos agropecuários em (R\$) e AC representa a área destinada à colheita em ha.

Posteriormente, o benefício marginal P_1 foi obtido utilizando a vazão demandada e a área irrigada das outorgas dos usuários irrigantes a jusante do reservatório Mirorós, através da equação 21.

$$P_1 = \frac{GL*AI}{Q_{out}} \quad (21)$$

Onde P_1 é dado em R\$/(m³/s), GL é o ganho líquido médio em R\$/ha, AI a área irrigada informada na outorga em hectares, e Q_{out} o somatório da vazão anual outorgada dos irrigantes em m³/s. Sendo assim, a curva de demanda para os irrigantes a jusante é estimada a partir do ponto (P_1, Q_{out}).

4.4. APLICAÇÃO DA ABORDAGEM HIDROECONÔMICA NA ALOCAÇÃO DE ÁGUA

Estimadas as curvas de demandas dos usuários da água, a última etapa da pesquisa consiste em analisar a alocação de água através do ponto de vista econômico, utilizando o Módulo de Análise Econômica do LabSid AcquaNet (versão antiga). A modelagem dividiu-se em duas análises.

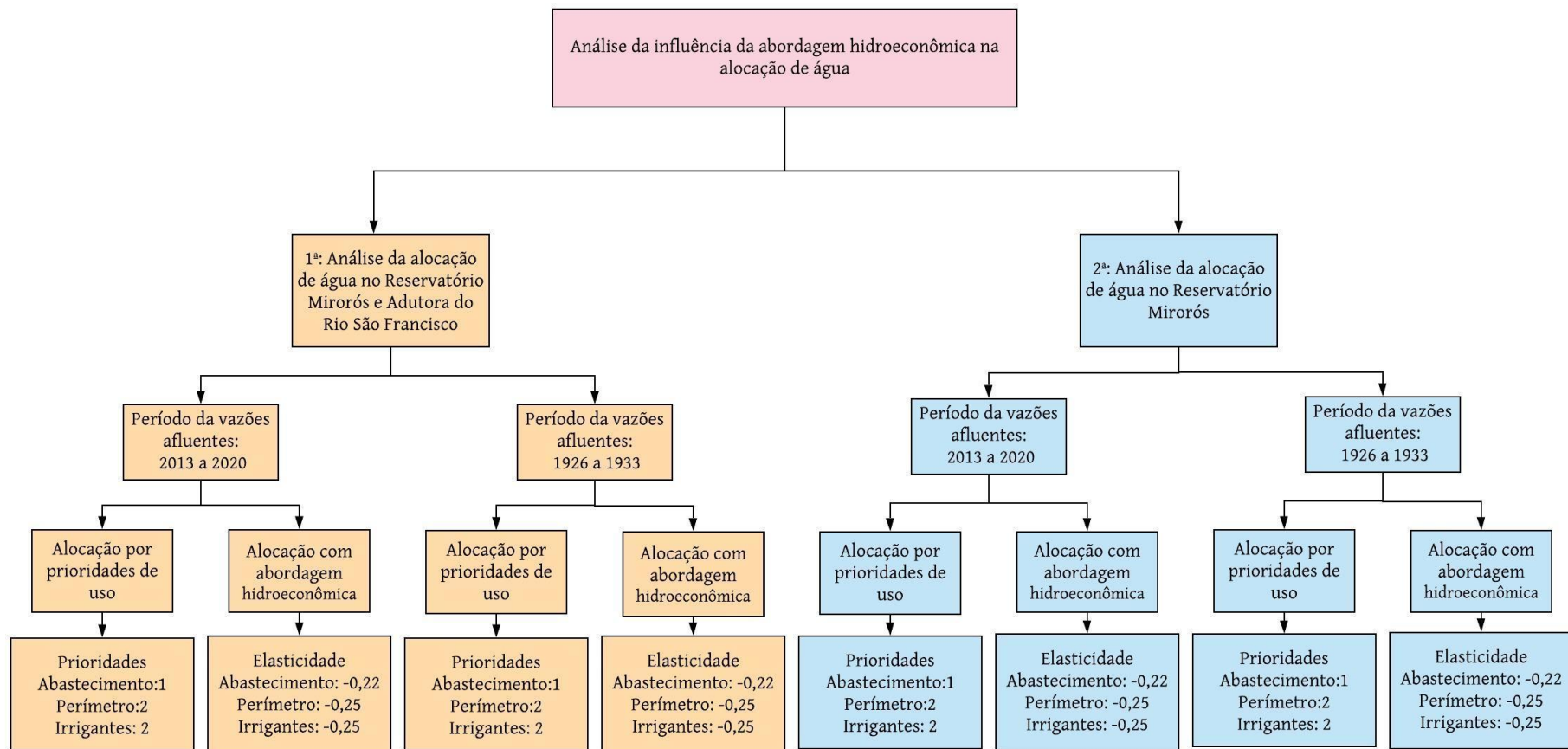
Na primeira análise, foi considerado o sistema hídrico formado pelo reservatório Mirorós e a adutora do rio São Francisco. Foi realizada uma análise comparativa entre dois períodos de vazões afluentes: um período de vazões geradas pelo próprio autor através do balanço hídrico

do reservatório entre maio de 2013 e abril de 2020; e outro período de vazões afluentes geradas pela Agência Nacional de Águas no âmbito do Estudo dos Reservatórios do Semiárido Brasileiro entre maio de 1926 e abril de 1933. Ressalta-se que esse último período compreende o pior biênio de vazões afluentes ao reservatório (1931-1932). A ANA utiliza as vazões mensais do pior biênio para definição dos estados hidrológicos e dos cenários para tomada de decisão na alocação de água. Por isso optou-se por utilizar também esse período na presente pesquisa. Para fins de comparação dos resultados, foi necessário realocar temporalmente as vazões de 1926 a 1933 para o mesmo período iniciado em maio de 2013, ou seja, foram utilizados os mesmos parâmetros e dados para simulação, alterando apenas as vazões afluentes.

A segunda análise assemelha-se à anterior, no entanto considerou-se o reservatório Mirorós isoladamente, ou seja, como se não houvesse o reforço da adutora do rio São Francisco. Essa análise foi utilizada a fim de entender o comportamento de reservatórios do semiárido que não possuem alternativas de abastecimento de água.

A Figura 20 resume as duas análises realizadas para alcançar esse objetivo. É importante ressaltar que, em todas as análises, utilizou-se como referência a alocação de água baseada nas prioridades de uso, através do Módulo de Alocação do AcquaNet.

Figura 20 – Fluxograma da análise da influência da abordagem hidroeconômica na alocação de água



Fonte: Próprio autor (2020).

4.4.1. O modelo Labsid AcquaNet

O Labsid AcquaNet é um modelo integrado de análise de sistemas complexos de recursos hídricos desenvolvido pelo Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões em Engenharia Ambiental e de Recursos Hídricos da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. O AcquaNet é um modelo de rede de fluxo dividido em módulos que funcionam de forma independente de acordo com a solução do problema analisado (LabSid, 2013; LabSid, 2020; PORTO *et al*, 2003)

Segundo Porto *et al* (2003), uma rede de fluxo é representada por nós e arcos (ou *links*), sendo que os nós são pontos de convergência ou saída do fluxo (quantidade do produto em função do tempo), e os arcos são as ligações entre esses pontos, transportando os fluxos. Os arcos possuem um custo de transporte do fluxo. Esse custo pode ter um valor monetário ou não, tais como uma penalidade ou prêmio.

Os modelos de rede de fluxo possuem características de técnicas de simulação e otimização. Tais modelos incluem algoritmos de otimização, sendo a função objetivo a minimização do custo do transporte do fluxo através dos links (PORTO, *et al*, 2003), ou seja, a melhor solução é aquela em que a soma de todos dos custos envolvidos na rede é menor. Sendo assim, a função objetivo não varia de acordo com a necessidade do usuário.

O AcquaNet utiliza um algoritmo de programação linear denominado “*Out-of-Kilter*”, desenvolvido para solução de problemas de minimização de custos (PORTO, *et al*, 2003). Logo, a função objetivo é escrita como:

$$\min \sum c_{ij}X_{ij} \quad (22)$$

sujeita às seguintes restrições:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^m X_{ij} - \sum_{j=1}^m X_{ji} &= 0, \quad i = 1, \dots, m \\ X_{ij} &\geq L_{ij}, \quad i, j = 1, \dots, m \\ X_{ij} &\leq U_{ij}, \quad i, j = 1, \dots, m \end{aligned}$$

Sendo: c_{ij} = custo do transporte de uma unidade de fluxo através do arco ij ;

x_{ij} = quantidade de fluxo que passa pelo arco ij ;

L_{ij} = capacidade mínima do arco ij ; e

U_{ij} = capacidade máxima do arco ij .

Destaca-se que o AcquaNet é um modelo de simulação com capacidade de realizar otimizações estáticas, garantindo o ótimo global para cada mês. As otimizações mensais são conectadas, visto que os dados de um mês são transferidos para o mês seguinte, ocorrendo a simulação da operação do sistema (ANDRADE, 2006).

Os modelos de rede de fluxo, apesar de possuírem grandes vantagens, tem como limitação a predefinição da função objetivo. Além disso, esses algoritmos não são capazes de otimizar sistemas não lineares (PORTO *et al*, 2003).

Os módulos em que se dividem o AcquaNet são: módulo de alocação de água, módulo de análise econômica para alocação, módulo de irrigação, módulo de produção de energia e módulo das curvas de aversão a risco, sendo que os dois primeiros módulos serão utilizados nessa pesquisa.

O módulo de alocação organiza o atendimento das demandas do sistema baseando-se nas regras de operação do reservatório, nas características hidrológicas e nas prioridades atribuídas às demandas.

No módulo de alocação, os custos são determinados a partir da prioridade atribuída, sendo:

$$C = -(1000 - 10P) \quad (23)$$

Os custos que representam prioridades são sempre negativos, logo ao atender uma prioridade o módulo está diminuindo os custos da rede (PORTO, *et al*, 2003).

De acordo com Porto *et al* (2003), a operação do reservatório utiliza o conceito do volume meta, ao qual pode ser atribuído uma prioridade. Sendo assim, quando o volume de água armazenado for menor que o volume meta, o modelo irá garantir o armazenamento da água, desde que as outras prioridades da rede não sejam maiores que a do reservatório.

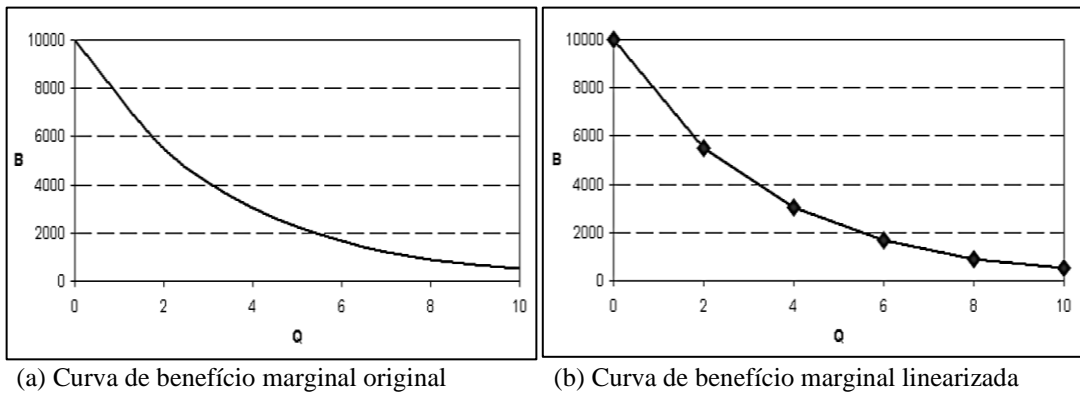
Já o módulo de análise econômica foi incorporado ao modelo com o objetivo de integrar o valor monetário associado aos diferentes usos da água no processo de alocação de água, através da utilização de curvas de benefício marginal (PORTO *et al*, 2003). No entanto, esse módulo ainda não foi finalizado na versão mais recente do modelo, o LabSid AcquaNet 2013. Dessa forma, a versão utilizada nesta etapa foi a Labsid AcquaNet (versão antiga).

O objetivo principal do módulo de análise econômica é alocar as vazões entre os nós da rede a fim de que o benefício econômico seja maximizado, ou seja, o custo da rede seja minimizado. O módulo permite calcular o impacto econômico nas decisões de alocação de água. No entanto, uma das grandes dificuldades é a atribuição do valor monetário aos usos da água. Essa valoração

ocorre através da inserção de valor único do benefício ou da inserção de curvas de benefícios marginais como dados de entrada do modelo (PORTO *et al*, 2003). O modelo permite adicionar mais de uma curva de benefício marginal para cada usuário, considerando que pode haver variações na demanda de acordo com a sazonalidade.

Visto que o modelo não resolve sistemas não lineares, o custo por unidade de fluxo em um determinado arco é constante. Como visto anteriormente, a curva de benefício marginal é exponencial, ou seja, não linear. Para resolução dos problemas, o módulo de análise econômica transforma a curva em um segmento de retas, sendo que cada um é representado por um novo arco, como mostra a Figura 21.

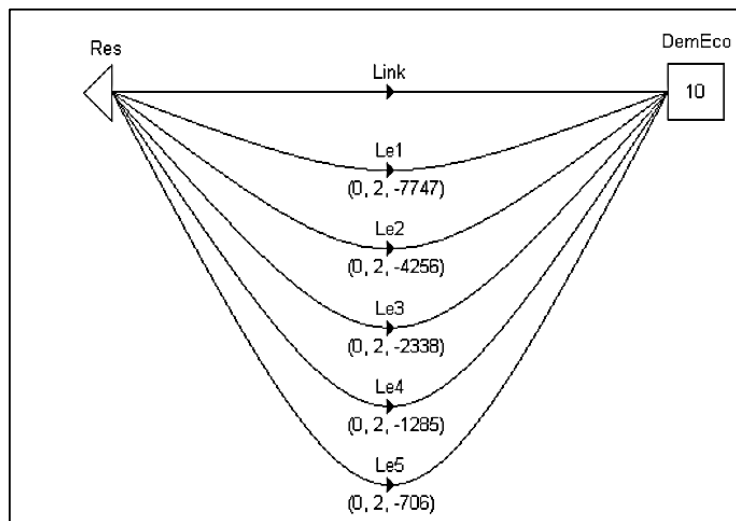
Figura 21 - Curvas de benefício marginal para modelagem no AcquaNet



Fonte: PORTO *et a* (2003).

Cada segmento de reta aproximado é representado por um novo arco (Figura 22), sendo chamados de arcos econômicos, que possuem novos valores de capacidade mínima, capacidade máxima e custo, l_i , u_i , c_i , respectivamente (PORTO *et al*, 2003).

Figura 22 - Configuração da curva de demanda em arcos econômicos



Fonte: PORTO *et al* (2003).

O benefício total em cada arco econômico é dado pela integral definida da curva de benefício marginal entre os limites de cada trecho, sendo esse igual a área sob o trecho, logo:

$$\mathbf{Benef}_i = \frac{\mathbf{Área}_i}{u_i} = \frac{(\mathbf{B}_i + \mathbf{B}_{i+1}) \cdot u_i}{2} \frac{1}{u_i} \quad (24)$$

Como o algoritmo não calcula o benefício total da rede, mas sim otimiza o sistema a partir do custo global, o modelo calcula o custo (c_i) em cada arco econômico a partir do benefício, sendo assim:

$$c_i = -\mathbf{Benef}_i \quad (25)$$

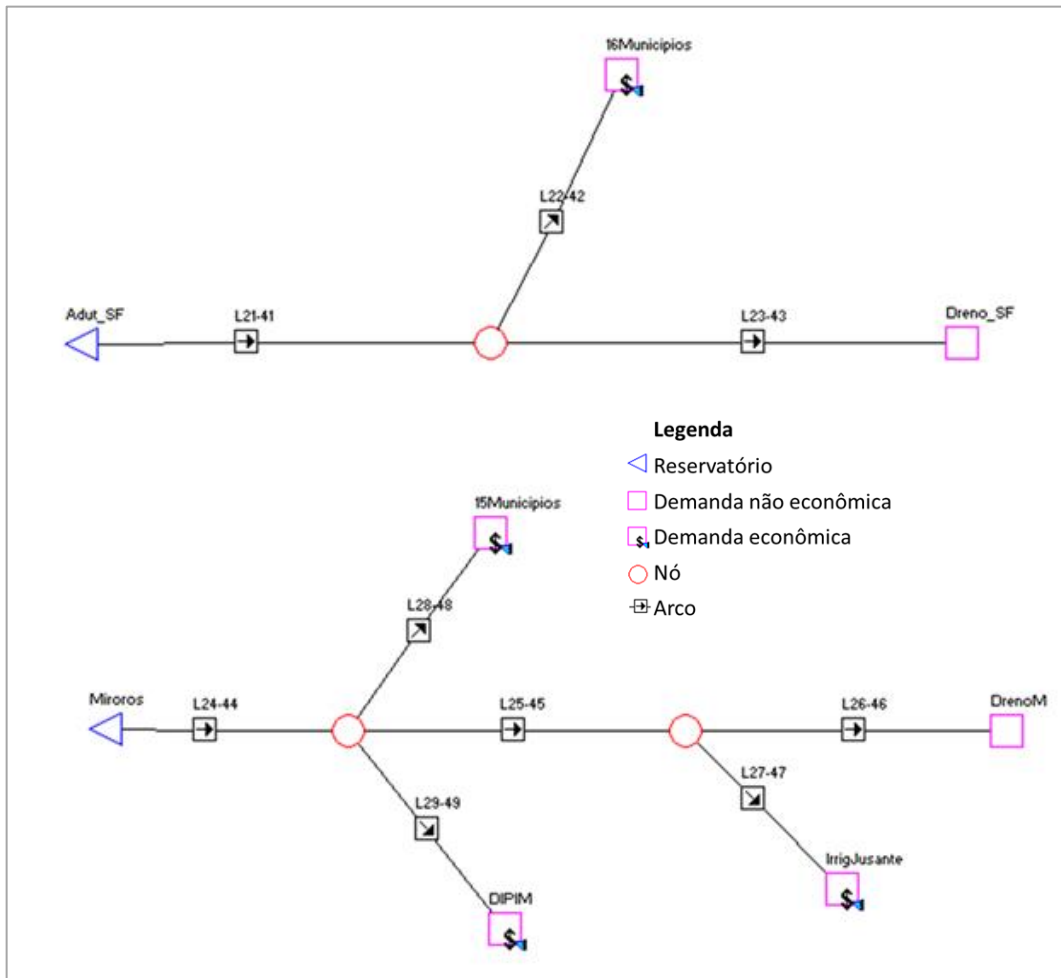
Vale ressaltar que o usuário define no modelo o benefício de cada demanda. O benefício da demanda incorporado ao modelo pode ser um valor fixo ou pode ser variável com a quantidade de água. Sendo assim, o modelo divide as demandas em não econômica ou econômica, respectivamente. Nesse último caso, o usuário precisa inserir os dados da curva de benefício marginal a cada mês. É importante ressaltar que toda demanda é econômica e varia de acordo com o preço do bem, no entanto o modelo oferece essas duas opções de simulação ao usuário.

4.4.2. Representação do sistema no modelo AcquaNet

O sistema hídrico foi representado em rede de fluxo, ou seja, rede de nós e arcos. Os nós representam os pontos de saída e convergência do fluxo, ou seja, trechos de rios, reservatórios, demandas, e estes são conectados através dos arcos. Para a composição das duas análises, foram realizadas duas representações do sistema hídrico:

- A primeira (Figura 23) representando o sistema hídrico do reservatório Mirorós e suas demandas, e o reforço da adutora do rio São Francisco para o abastecimento humano. Essa representação foi utilizada na primeira análise da modelagem. Ressalta-se que o rio São Francisco foi considerado no modelo como um reservatório com curva cota-área-volume igual a zero.

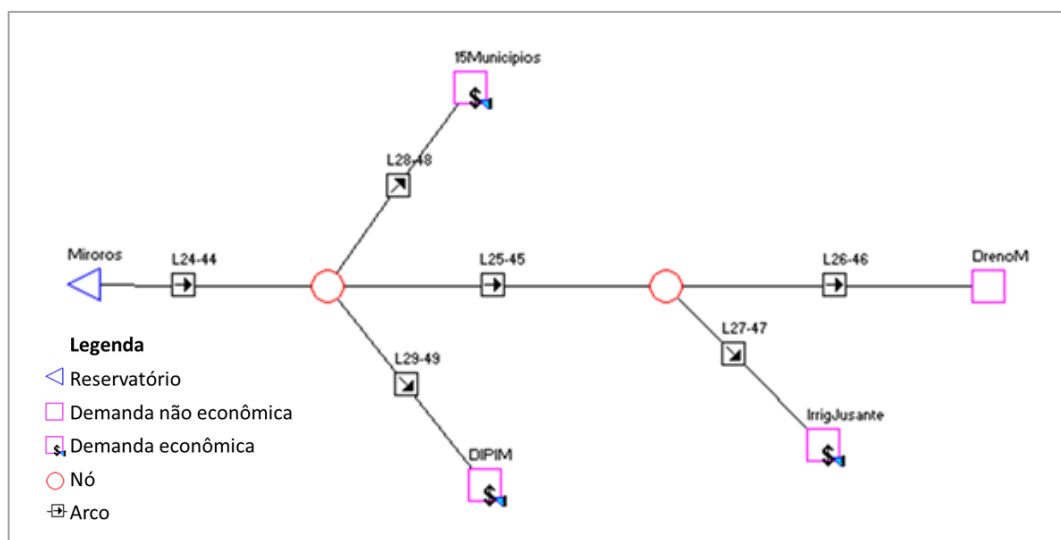
Figura 23 – Representação do Sistema hídrico Mirorós e Adutora do rio São Francisco



Fonte: Próprio autor, 2020.

- A segunda representação (Figura 24) consiste apenas no reservatório Mirorós e suas demandas, sendo utilizada na segunda análise.

Figura 24 – Representação do Sistema hídrico Mirorós



Fonte: Próprio autor (2020).

4.4.3. Definições gerais do modelo

No modelo AcquaNet é necessário inserir as definições gerais do modelo. Foram definidos: mês inicial da simulação (maio/2013) e número de anos de simulação (7 anos), tipo de simulação (simulação contínua) e opções de cálculo (calibração).

Em seguida, iniciou-se a entrada dos dados do sistema hídrico no modelo. Esses dados compreendem as características operacionais do reservatório, as características hidrológicas e climáticas (como vazões e taxas de evaporação), e as quantidades de água demandada.

4.4.4. Dados de entrada do reservatório

Considerando o Reservatório Mirorós, adicionaram-se as seguintes informações:

- Volumes característicos dos reservatórios: máximo, mínimo e inicial;
- Curva Cota-Área-Volume;
- Taxa de evaporação mensal;
- Vazões afluentes ao reservatório Mirorós, considerando as duas alternativas de período de vazões afluentes: a primeira com vazões calculadas pelo próprio autor (2013-2020), e a segunda com vazões geradas pela ANA (1926-1933);
- Vazões afluentes ao rio São Francisco, sendo considerado o valor da outorga concedida para captação de água para o abastecimento humano desse sistema (657 l/s), partindo do pressuposto de que essa vazão estará sempre disponível para atendimento das demandas.

4.4.5. Entrada de dados das demandas de água

No módulo de Análise Econômica, deve-se identificar o tipo de demanda (econômica ou não). As demandas econômicas requerem a inserção das curvas de benefício marginal do tipo exponencial. Como citado anteriormente, o modelo não suporta equações não lineares, portanto a curva é inserida através do preenchimento de uma tabela com seis pontos, aproximando a curva de demanda a cinco segmentos de retas. Os segmentos de retas são representados por cinco arcos com valores econômicos calculados pelo *software* e apresentados na aba 'valores econômicos'.

Além dos dados econômicos, é necessário inserir as vazões demandadas para cada usuário:

- Demandas do Perímetro Irrigado de Mirorós

Considerou-se a vazão demandada do perímetro irrigado constante durante os sete anos estudos. O valor utilizado foi igual à vazão outorgada pela ANA, sendo 871 l/s.

- Demandas dos irrigantes a jusante do reservatório

A vazão demandada dos irrigantes a jusante também foi considerada constante em todo o período simulado, sendo igual ao valor outorgado dos usuários. O valor fornecido pela entidade reguladora estadual (INEMA) corresponde a 112 l/s.

- Demandas de abastecimento humano (primeira análise)

Na primeira análise, com o sistema hídrico formado pelo reservatório e a adutora do São Francisco, as vazões variaram de acordo com a operação da adutora. A adutora do rio São Francisco teve o início de operação em fevereiro de 2013, atendendo parte dos municípios do SIAA Irecê, enquanto os demais eram atendidos pelo reservatório Mirorós. Posteriormente, a adutora foi ampliada e passou a abastecer todos os municípios do sistema integrado. No entanto, ainda assim, a Embasa detém a outorga dos dois mananciais, sendo 278 l/s no reservatório Mirorós e 657 l/s no rio São Francisco. No entanto se essas vazões fossem utilizadas como demandas na modelagem, o valor demandado estará sendo superestimado. Sendo assim, as vazões demandadas tiveram como referência a média das vazões captadas, entre o período de 2015 a 2020, disponibilizados nos Boletins de Acompanhamento da Alocação do Mirorós (Tabela 10).

Tabela 10 - Vazões médias captadas (2015 a 2020)

| Período | Vazão média captada Reservatório Mirorós (l/s) | Vazão média captada Adut. do R. São Francisco (l/s) |
|---------------------------|---|--|
| Agosto/2015 a Julho/ 2018 | 228,67 | 301,28 |
| Agosto/2018 a Abril/2020 | 12,28 | 518,29 |

Fonte: Próprio autor com base em ANA (2016-2020).

Dessa forma, as demandas utilizadas no AcquaNet foram:

- Maio de 2013 a Agosto de 2018: 0,229 m³/s demandados do Reservatório Mirorós e 0,301 m³/s demandado do rio São Francisco.
- Agosto de 2018 a Abril de 2020: 0,012 m³/s demandados do Reservatório Mirorós e 0,518 m³/s demandado do rio São Francisco.

- Demandas de abastecimento humano (segunda análise)

Na segunda análise, em que foi considerado o reservatório Mirorós como única forma de abastecimento de água, a demanda foi correspondente ao valor outorgado para a Embasa antes da operação da adutora do rio São Francisco, que corresponde a 458 l/s. Acrescentou-se a essa demanda, a vazão demandada pelo município de Itaguaçu da Bahia antes de o mesmo ser integrado ao SIAA Irecê, que correspondia a 3 l/s. Foi adotada essa estratégia porque tal

demanda corresponde a um valor muito pequeno que o modelo AcquaNet não reconhece, pois a aproxima de uma vazão nula. Vale destacar ainda que o abastecimento público nesse município se dava através da prefeitura municipal, não dispondo de dados para construção da curva de demanda. Sendo assim a demanda do abastecimento humano totalizou em 461 l/s.

- Perenização a jusante

O Marco Regulatório de Alocação de Água no sistema hídrico Mirorós (ANA, 2017e) estabelece que, independentemente do estado hidrológico do reservatório, deve-se garantir 100% da vazão de perenização a jusante, que corresponde a 70 l/s. Para atender essa exigência, subtraiu-se a vazão de 0,070 m³/s da vazão afluente ao reservatório inserida no modelo, garantindo assim o atendimento integral da perenização a jusante.

Ressalta-se que em nenhuma das demandas foi considerada a fração de retorno, visto que a vazão efluente de abastecimento humano tem como destino outro manancial hídrico. E ainda, de acordo com Coelho *et al* (2005), as vazões não consumidas pela plantação, ou seja, que tendem a evaporar ou infiltrar no solo, podem ou não retornar ao mesmo curso d'água do qual ocorreu a captação. Sendo assim, não considerou-se vazão de retorno para a irrigação.

4.4.6. Estimativa dos benefícios e custos econômicos obtidos pelos usuários nas diferentes alternativas de alocação de água

Dentre os resultados obtidos com a simulação do sistema hídrico no AcquaNet tem-se o Benefício Anual Médio de cada usuário. Esse dado está relacionado à vazão média de água fornecida e às curvas de benefício marginal.

Ressalta-se que esses resultados são obtidos apenas em simulações realizadas com o Módulo de Análise Econômica, não sendo possível obter diretamente pelo modelo os benefícios econômicos das alternativas de alocação que utiliza o Módulo de Alocação de Água. Por isso, para fins comparativos, foi necessário realizar uma adaptação à simulação das alternativas no modelo com objetivo de estimar o benefício anual médio na alternativa de alocação de água por prioridade.

Dessa forma, após a simulação das alternativas no módulo de alocação de água por prioridades, os resultados obtidos para vazões médias fornecidas de cada usuário, para cada mês de simulação, foram utilizados como vazão de demanda de seu respectivo usuário no módulo de análise econômica, que incorpora as curvas de benefício marginal. Com essa manobra, foi possível obter o Benefício Médio Anual das alternativas de alocação por prioridades.

Através dos valores de benefício econômico, é possível calcular o custo da escassez da água, um parâmetro econômico importante para analisar os impactos econômicos da alocação de água. O custo de escassez foi utilizado por Livele e Silveira (2015) com o objetivo de avaliar os impactos econômicos da satisfação ou escassez hídrica de usuários agrícolas em diferentes cenários de disponibilidade hídrica.

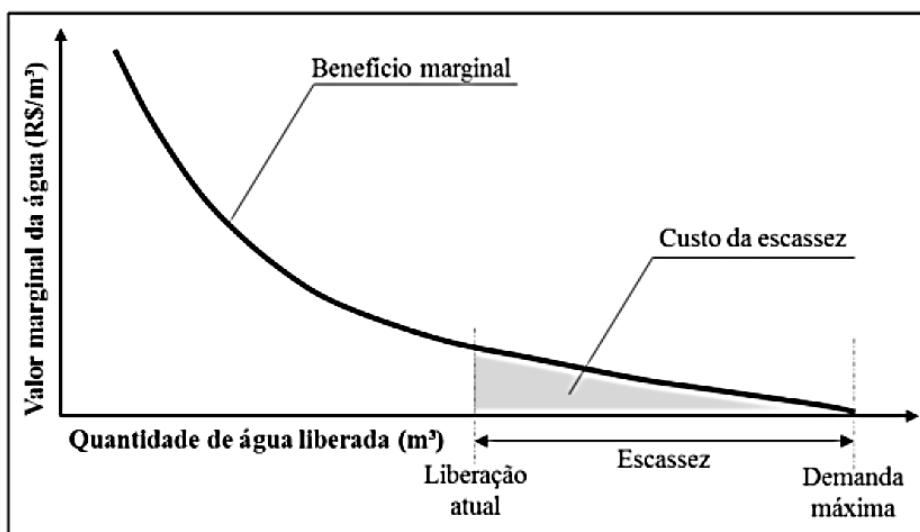
A escassez de água representa a diferença entre a quantidade de água alocada e a quantidade demandada pelo usuário, ou seja, a quantidade que seria fornecida ao usuário em situações confortáveis de disponibilidade hídrica. Quando isso acontece o usuário usufrui de um benefício menor do que o benefício de ter sua demanda total atendida. O custo da escassez representa, então, o custo associado à quantidade de água que deixa de ser alocada para determinado usuário.

Sendo assim, o custo da escassez é a diferença entre o benefício desejado pelo usuário e o benefício vinculado à quantidade de água disponibilizada. É representado pela integral da curva de demanda, ou curva de disposição a pagar, sendo que o limite superior da integral é a quantidade demandada pelo usuário e o limite inferior é a quantidade alocada (Fadel e Marques, 2017), como mostra a equação:

$$C_{escassez} = \int_{Q_{aloc}}^{Q_{dem}} P(Q) dQ \quad (26)$$

Sabendo que a integral é a área sob uma curva, tem-se que o custo da escassez é a área sob a curva de demanda respeitando tais limites, e é dado em unidade monetária, como mostra a Figura 25 .

Figura 25 - Representação gráfica do custo da escassez



Fonte: MORAES, 2018.

Como citado, no módulo de análise econômica do AcquaNet, a curva de benefício marginal é dividida em segmentos de retas, representados por arcos. O benefício econômico de cada arco é a área sob a reta. Dessa forma, obteve-se o custo de escassez médio anual das alternativas a partir da diferença entre o benefício anual médio ao atender 100% das demandas e o benefício anual médio no ponto da vazão alocada.

4.5. INDICADORES DE DESEMPENHO

O desempenho operacional de um sistema pode ser satisfatório ou insatisfatório. No caso de um reservatório, o desempenho está relacionado ao atendimento das demandas de uso da água. Hashimoto *et al* (1982), consideraram o desempenho insatisfatório como uma falha. Sendo assim, a análise do desempenho do sistema hídrico, de acordo com o autor, concentra-se em um sistema de falhas. A falha é considerada como uma violação do padrão de desempenho. O desempenho do sistema hídrico foi avaliado através dos indicadores de confiabilidade, resiliência, vulnerabilidade e sustentabilidade.

Segue a metodologia utilizada na estimativa dos indicadores de desempenho.

4.5.1. Indicador de confiabilidade

A confiabilidade representa a frequência ou probabilidade que ocorra um estado insatisfatório no sistema (HASHIMOTO *et al*, 1982). A confiabilidade é o oposto do risco, logo quanto mais próximo de 1 for o resultado desse índice, melhor será a confiabilidade do reservatório (ANDRADE, 2006). O autor estima esse indicador através da equação a seguir.

$$C = P\{X_t \leq X_0\} = 1 - \frac{n}{N} \quad (27)$$

Onde:

C = confiabilidade;

$X_t < X_0$ representa uma falha do sistema;

n é o número de intervalos de tempo onde $X_t < X_0$;

e N é o número total de intervalos de tempo.

A confiabilidade não descreve a gravidade das falhas, essa é definida pelos indicadores de resiliência e vulnerabilidade.

4.5.2. Indicador de resiliência

A resiliência exprime em quanto tempo o reservatório irá se recuperar após a ocorrência de uma falha, ou seja, quanto tempo leva para o reservatório retornar ao estado satisfatório (HASHIMOTO *et al*, 1982). Andrade (2006) estima o índice de resiliência através da equação:

$$R = \frac{1}{E\{d\}} = \left[\frac{1}{M} \sum_{j=1}^M d_j \right]^{-1} \quad (28)$$

Na qual:

M é o número de eventos de ocorrência de falhas; e

d é a duração do *déficit*.

4.5.3. Indicador de vulnerabilidade

A vulnerabilidade refere-se à magnitude provável de uma falha, caso ela ocorra. (HASHIMOTO et al, 1982). De acordo com Preziosi *et al* (2013), a vulnerabilidade pode ser encontrada por:

$$V = \frac{\sum_{i=1}^M VE_i}{\sum_{i=1}^M VD_i} \quad (29)$$

Onde:

M é o número de falhas;

VE é o volume de *déficit*; e

VD é o volume da demanda.

4.5.4. Indicador de sustentabilidade

A partir dos índices de confiabilidade, resiliência e vulnerabilidade, Loucks (1997) definiu o índice de sustentabilidade. Esse índice possibilita a quantificação da sustentabilidade de um sistema hídrico a fim de facilitar as tomadas de decisões sobre o desempenho e operação de sistemas de recursos hídricos.

O indicador de sustentabilidade é dado pela equação:

$$S = C * R * (1 - V) \quad (30)$$

Onde:

S é o indicador de sustentabilidade;

C é o indicador de confiabilidade;

R é o indicador de resiliência; e

V é o indicador de vulnerabilidade.

Sendo assim, o aumento da sustentabilidade de um sistema está relacionado ao aumento da confiabilidade e resiliência do mesmo, e à diminuição de sua vulnerabilidade.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O presente capítulo descreve os resultados obtidos na pesquisa e divide-se nos seguintes tópicos: análise SWOT do processo de alocação de água no reservatório Mirorós; comportamento da demanda de água dos usuários; análise da aplicação de abordagem hidroeconômica na alocação de água; e contribuições para o SINGREH. Os três primeiros tópicos apresentam os resultados obtidos para cada objetivo específico da pesquisa. Por fim, o último tópico apresenta como a pesquisa pode contribuir para o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH) e apresenta a proposta do produto técnico resultante dessa pesquisa.

5.1. ANÁLISE SWOT DO PROCESSO DE ALOCAÇÃO DE ÁGUA NO RESERVATÓRIO MIRORÓS

O processo de alocação de água no reservatório Mirorós segue a metodologia da Agência Nacional de Águas para alocação de água em açudes isolados. A partir dos documentos disponibilizados é possível observar os pontos fracos e fortes do processo.

De acordo com a referida metodologia, durante a reunião de alocação de água são apresentados três cenários de uso da água para o período de um ano, variando o percentual de atendimento dos referidos usos. Esses cenários são submetidos à decisão entre os participantes da reunião, tais como os usuários de água presentes. Visto que os usuários da água têm maior conhecimento da realidade local e que os mesmos estão envolvidos na decisão do cenário de referência, a alocação negociada no reservatório Mirorós permite uma maior flexibilidade de acordo com as necessidades locais.

Para garantir a participação de todos os envolvidos, durante o processo de alocação negociada é instituída uma comissão de monitoramento da alocação, que deve incluir representantes do operador do reservatório, dos usuários e das instituições interessadas. A comissão de monitoramento da alocação pode ser considerada como uma força do processo, desde que devidamente representada. No caso do reservatório Mirorós, nos anos de 2016 e 2017, existia maior participação dos entes envolvidos. No entanto, a partir da alocação de 2018-2019, não houve representação do INEMA, entidade reguladora estadual, bem como não há representante dos ribeirinhos desde a alocação de 2019-2020. Ocorre assim uma falha na relação entre as entidades estadual e federal, e ainda falha na participação dos ribeirinhos na comissão.

Em relação à participação dos usuários nas reuniões de alocação, foram observadas as listas de presença, sendo possível notar a participação do Comitê de Bacia, Embasa, Codevasf e DIPIM,

o que é considerado como uma força do sistema. No entanto, observou-se como uma fraqueza, a baixa participação dos ribeirinhos nas reuniões.

Durante as reuniões anuais de alocação de água, o Plano de Alocação deve ser revisado, tornando assim a alocação mais representativa, visto que avalia anualmente as mudanças ocorridas tanto na oferta quanto na demanda de água. Além disso, com o objetivo de monitorar as regras estabelecidas, é elaborado mensalmente um Boletim de Acompanhamento da Alocação, contendo: contatos da comissão de monitoramento, gráfico das curvas-guia do reservatório com valores esperados e observados do volume, tabela contendo as vazões acordadas e vazões captadas nos meses seguintes do termo de alocação e a relação das ações necessárias para que a alocação ocorra de forma efetiva, indicando seus prazos e sua situação de cumprimento.

A elaboração das regras propostas para a alocação tem como base os estudos técnicos sobre o sistema hídrico. A Nota Técnica nº 13/2017/COMAR/SER apresenta resultados de tais estudos para o reservatório Mirorós, sendo estes:

- a curva cota-área-volume (CAV), obtida através de estudo batimétrico realizado pela CODEVASF em 2008;
- o vetor de evaporação, que é considerado nas simulações hidrológicas, e representa uma importante saída de água do reservatório;
- o gráfico da série de vazões afluentes pseudo-históricas geradas para o período 1913-2013 através de um modelo chuva-vazão. Esses dados são importantes para entender o comportamento hidrológico do reservatório, no entanto a geração de série de vazões através de modelos oferece menor precisão aos estudos do que quando se utiliza uma série de vazões medidas;
- dados de vazões permanentes mensais afluentes ao reservatório, permitindo avaliar as vazões para diferentes garantias, tais como 90% e 95% de ocorrência; e
- gráfico do histórico de volume do reservatório Mirorós a partir do ano de 1990, obtidos através da medição das cotas de água no reservatório. No entanto, esses dados apresentam falhas em alguns períodos, sendo a falha mais expressiva entre abril de 1992 e dezembro de 1998. Além desta, outras falhas compreendem os seguintes períodos: maio a dezembro de 2000, setembro de 2001 a dezembro de 2002, setembro de 2007 a dezembro de 2009 e setembro de 2010 a agosto de 2012.

Durante as reuniões, são firmadas algumas ações a serem cumpridas pelos entes envolvidos: usuários, operador do reservatório e entidade ou órgão regulador. As ações acordadas e

cumpridas no último termo de alocação foram: medição de cotas do reservatório, medição dos volumes captados e medição do nível de água de saída para o rio Verde. Essas ações de monitoramento podem ser consideradas forças do processo de alocação no reservatório Mirorós. No entanto, algumas ações estabelecidas não tem sido cumpridas, como exemplo de ações objetivando a regulação dos usos no termo de alocação de 2019-2020, tem-se:

- o INEMA deve encaminhar para a comissão de acompanhamento a relação de outorgados no rio Verde, contendo dados cadastrais e de uso da água;
- realização conjunta entre INEMA e Codevasf de campanha de fiscalização para verificação de barragens, reservatórios ou pontos irregulares de derivação de água a montante do reservatório Mirorós;
- realização, por parte do INEMA e CBHVJ, de campanha de fiscalização com o objetivo de verificar usos irregulares e obstruções eventuais da água do rio Verde no trecho compreendido entre a saída da barragem e o riacho da Conceição;

Além dessas, foram estabelecidas outras ações que deveriam ser realizadas pelo CBHVJ no ano de 2019, mas até então possuem o estado de “não realizada”, sendo elas:

- Centralizar o recebimento de denúncias sobre usos irregulares e encaminhar ao INEMA e à ANA;
- Elaborar proposta de estudo das águas subterrâneas e da interação entre rio e aquífero na região do açude Mirorós;
- Articular com usuários a alteração da cobrança pelo uso da água quando ocorrer restrição obrigatória de uso da água devido à escassez; e
- Apresentar à ANA proposta de instalação de placas fotovoltaicas no reservatório Mirorós para auxiliar a operação e manutenção dos dispositivos da barragem.

O processo de alocação negociada do Mirorós não considera ainda aspectos de qualidade da água, nem critérios econômicos, tais como custos ou benefícios do uso da água.

Além das forças e fraquezas, existem fatores externos que influenciam no processo de alocação de água, ou seja, fatores que não podem ser controlados internamente ao processo, são eles as ameaças e as oportunidades.

A incerteza da oferta hídrica é um grande desafio nos estudos hidrológicos, visto que não é possível garantir as vazões futuras. Sendo assim uma das ameaças para o processo de alocação é a possibilidade de redução da disponibilidade hídrica, que pode ser agravada pelas mudanças climáticas.

As bacias dos rios Verde e Jacaré localizam-se em uma região com um dos menores índices pluviométricos da Bahia. O clima semiárido é caracterizado pela elevada temperatura, excedentes hídricos insignificantes ou nulos, baixa umidade e elevada insolação (CBHVJ, 2017a). Sendo assim, as condições climáticas da região do reservatório Mirorós é considerada uma ameaça para a alocação de água. Além disso, de acordo com a Nota Técnica nº 13/2017/COMAR/SER, os dados históricos de acumulação de água no reservatório mostram que o mesmo “está sujeito a grandes períodos de deplecionamento contínuo”, sendo que seu volume de permanência em 50% do tempo é aproximadamente 38% da sua capacidade máxima e que nunca houve vertimento. Esses dados de volumes acumulados mostram ainda que o reservatório pode ter sido superdimensionado.

Em 2018, através da Deliberação CBHVJ nº 001, foram estabelecidos os mecanismos e propostos preços para a cobrança pelo uso dos recursos hídricos na RPGA dos rios Verde Jacaré, o que pode ser considerado como uma oportunidade para gestão de recursos hídricos na bacia hidrográfica, visto que, de acordo com a Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997), os objetivos da cobrança são reconhecer o valor econômico da água, incentivar o uso racional e obter recursos financeiros para financiar ações contempladas no plano de recursos hídricos. Ressalta-se que a cobrança pelo uso da água do Açude Mirorós é de responsabilidade da ANA,

Outra oportunidade a ser citada é a eficiência do sistema de irrigação no Perímetro Irrigado de Mirorós, maior usuário de água do reservatório. De acordo com técnicos da Codevasf, mais de 99% dos agricultores do Perímetro Irrigado de Mirorós utilizam a microaspersão como sistema de irrigação, sendo esse sistema responsável por baixas perdas de água, como mostra a Tabela 11.

Tabela 11 - Eficiência de sistemas de irrigação

| Método de irrigação | Sistema de irrigação | Eficiência |
|----------------------------|-------------------------------|-------------------|
| Superfície | Bacias em nível | 60-80 |
| | Sulcos | 60-80 |
| | Pulso | 65-80 |
| | Faixas | 55-75 |
| | Sulcos corrugados | 40-55 |
| Aspersão | Deslocamento linear | 75-90 |
| | Pivô central de baixa pressão | 75-90 |
| | Aspersão fixo | 70-85 |
| | Pivô central de alta pressão | 65-80 |
| Microirrigação | Gotejamento | 85-95 |
| | Microaspersão | 85-90 |

Fonte: Morris; Lynne (2006)

Em contrapartida, é possível citar uma ameaça relacionada às perdas de água por evaporação no canal de irrigação que transporta a água do reservatório até os perímetros irrigados. Através do Google Earth, foi estimada uma extensão de aproximadamente 15 km de canais abertos para a irrigação do perímetro, o que pode implicar em uma taxa de evaporação considerável para o sistema. Ressalta-se ainda que apesar da maior parte do perímetro irrigado apresentar sistema de irrigação mais eficiente, os volumes demandados para esse fim são maiores que os demais usos.

Também devem ser consideradas as perdas no transporte de água nos sistemas de abastecimento, visto que representam um volume de água demandado, mas que não é consumido, sendo assim caracterizadas como uma ameaça. De acordo com o Sistema Nacional de Informações em Saneamento (SNIS, 2018), o índice de perdas nos municípios que compõem o SIAA rio Verde varia entre 16 e 19,25%, apresentando uma média de 18,8%. Esses valores encontram-se muito abaixo da média nacional, que é de 38,5% de acordo com o SNIS (2018), mas, ainda assim, representam uma quantidade de água que deixa de ser aproveitada.

A existência do Plano de Recursos Hídricos das Bacias dos rios Verde e Jacaré pode ser considerada como uma oportunidade. De acordo com a Lei das Águas, os planos de recursos hídricos são instrumentos de planejamento que têm o objetivo de “fundamentar e orientar a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos” (BRASIL, 1997, art 6). A ANA (2013c) reforça que os planos de bacias orientam a sociedade e os gestores de recursos hídricos em relação ao uso da água. A partir do conteúdo do Plano de Recursos Hídricos das bacias dos rios Verde e Jacaré (CBHVJ, 2017a), é possível obter informações sobre o diagnóstico da bacia a que pertence o reservatório, e ainda são apresentadas ações para alcançar os objetivos estratégicos propostos para as BHVJ, incluindo ações relacionadas ao reservatório Mirorós, tais como: “Viabilidade da redução de demanda de Mirorós para abastecimento humano” e “Aprimoramento da operação de Mirorós”.

O Plano de Recursos Hídricos das Bacias dos rios Verde e Jacaré aponta pontos fracos e fortes das Unidades de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos (UPGRH) das bacias. Para a UPGRH do Alto e Médio Verde, onde está localizado o reservatório Mirorós, os pontos fracos citados foram: fiscalização insuficiente do processo de desmatamento, do uso de poços e emissão de outorgas; demanda por água reprimida; conflitos de uso da água estabelecidos; potencial contaminação da água e do solo devido ao uso de agroquímicos; incapacidade do reservatório Mirorós em atender às demandas; comunidades ribeirinhas a jusante do reservatório Mirorós afetadas pela baixa disponibilidade hídrica. Enquanto que como pontos

fortes têm-se: forte organização dos setores dos usuários da água; atuação do Comitê de Bacia, Codevasf e Embasa; ações pontuais de recuperação de áreas degradadas, como nascentes; presença de áreas com alta disponibilidade da água subterrânea; e uso de técnicas de irrigação que influenciam na economia de água.

Como fator negativo que influi na alocação de água, e influiu no andamento desta pesquisa, destaca-se a ocorrência de falhas de dados da área de estudo, ocasionando incertezas na análise. Para entender e simular o funcionamento de um sistema hídrico deve-se dispor de alguns dados básicos, tais como vazões afluentes ao reservatório, cotas ou volumes da água no reservatório, volumes captados para as demandas, vazões defluentes do reservatório.

A Figura 26 apresenta a Matriz SWOT da alocação de água realizado atualmente no reservatório Mirorós, distinguindo as forças, fraquezas, oportunidades e ameaças identificadas no processo.

Figura 26 - Análise SWOT da Alocação de Água no Reservatório Mirorós



Fonte: Próprio autor, 2020.

Com base nos resultados é possível traçar a relação de pontos positivos e negativos da alocação de água no reservatório Mirorós com a abordagem hidroeconômica. Alguns aspectos considerados como forças do processo contribuem para a implementação da abordagem hidroeconômica, destacando-se os estudos técnicos e a medição de dados hidrológicos.

No entanto, como citado como fraqueza, existem falhas ou ausência na disponibilidade de alguns dados necessários para a análise da alocação de água, revelando dificuldades para a aplicação da abordagem hidroeconômica. Por exemplo, as vazões afluentes ao reservatório utilizadas nos estudos de alocação de água do sistema são vazões geradas através de um modelo chuva-vazão, o que ocasiona menor confiabilidade do que vazões afluentes medidas. Além disso, as grandes falhas presentes no histórico de cotas do reservatório impediram a realização do balanço hídrico em um período mais extenso. Verificou-se ainda que, apesar de atualmente existirem medições dos volumes captados para todos os usos no reservatório, as vazões de água para o perímetro irrigado e a defluência a jusante só tiveram suas medições iniciadas em 2017 e 2018, respectivamente. Essas fraquezas transformam-se em limitações da pesquisa que necessitam ser superadas.

A partir do referencial teórico dessa pesquisa foi possível identificar as vantagens da utilização da alocação negociada de água, como a flexibilidade de distribuição da água de acordo com a demanda local, viabilidade e sustentabilidade administrativa e aceitabilidade política, mencionadas por Dinar *et al* (1997). As forças relacionadas ao processo de alocação no reservatório Mirorós evidenciam essas vantagens, como por exemplo a flexibilidade nos acordos e a participação dos usuários na tomada de decisão. Dessa forma, essa pesquisa não tem como objetivo substituir o atual processo de alocação de água pela alocação baseada na abordagem hidroeconômica, mas aproveitar as forças da alocação negociada e as vantagens da abordagem hidroeconômica de forma conjunta. Como o processo atual não considera os critérios econômicos, a implementação da abordagem hidroeconômica fornecerá mais um aspecto a ser considerado na decisão dos usuários: o valor econômico de água.

Ao conhecer o valor econômico da água, e conseqüentemente, seus custos e benefícios econômicos, os usuários podem ser induzidos ao uso mais eficiente. Além disso, os gestores podem definir, na cobrança de uso da água, preços compatíveis com o real valor econômico desse recurso, buscando reduzir as demandas em excesso, e assim alcançar maior eficiência no uso da água (LIVELE, 2015).

Como mencionado, a existência dos planos de recursos hídricos auxilia o processo de alocação de água. Entre os conteúdos do plano tem-se a definição de prioridades de outorga de usos

considerando as potencialidades econômicas da região. Sendo assim, a abordagem hidroeconômica, ao indicador o valor econômico dos usos da água, contribui para a identificação das potencialidades econômicas da bacia hidrográfica, auxiliando na determinação das prioridades de uso.

Dessa forma, pode-se minimizar uma das ameaças citadas que é a redução da disponibilidade hídrica. Embora não se possa alterar as condições hidrológicas naturais, é possível alcançar mudanças na disponibilidade temporal ou local da água para os usuários através do aumento da eficiência do uso da água e da redução de perdas.

5.2. COMPORTAMENTO DA DEMANDA DE ÁGUA DOS USUÁRIOS DO RESERVATÓRIO MIRORÓS

A seguir, apresenta-se o comportamento da demanda dos usuários de água no reservatório Mirorós dividida em dois tópicos: determinação da elasticidade preço da demanda e estimativa das curvas de demanda da água.

5.2.1. Determinação das elasticidades-preço da demanda

Na obtenção da função da demanda “tudo ou nada”, foi necessário identificar dois pares ordenados (vazão e preço).

Na alternativa 1, construção da adutora de água bruta advinda do rio São Francisco, considerou-se a vazão da outorga de captação da Embasa no reservatório, isto é, aproximadamente 460 l/s. Os custos de obtenção da água estimados para a alternativa 1 são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 – Custos da Alternativa 1 para o abastecimento humano: Adutora de água bruta no leito principal do rio São Francisco

| | Item | Preço |
|---|--|----------------------|
| 1 | Adutora de Água Bruta - Material Ferro Fundido - DN 600mm | 27.400.169,19 |
| | Locação e Nivelamento (R\$/ano) | 4.183,40 |
| | Implantação da Adutora (R\$/ano) | 19.551.667,55 |
| | Operação e manutenção da adutora (R\$/ano) | 7.844.318,23 |
| 2 | Estação de Bombeamento - 2 estações com 1500 cv e 3600 cv | 17.067.063,83 |
| | Implantação da Estação de Bombeamento (R\$/ano) | 1.017.718,77 |
| | Operação e manutenção da Estação de Bombeamento (R\$/ano) | 834.242,71 |
| | Consumo de energia elétrica (R\$/ano) | 15.215.102,36 |
| | Custo anual total (R\$/ano) | 44.467.233,01 |
| | Vazão anual média (m ³ /s) | 0,460 |
| | Volume anual de água demandada (m ³ /ano) | 14.506.560,00 |
| | Custo unitário (R\$/m³) | 3,07 |

Fonte: Próprio autor (2020).

Na alternativa 2, implantação de poços, considerou-se que a vazão demandada corresponde a 392 l/s. Esse valor foi estimado a partir das perdas de água em captações subterrâneas, que, conforme recomendado por Carrera-Fernandez e Garrido (2002), são de 5%. Esse valor é menor que a estimativa obtida pelo SNIS (2018), de 18.8%, para os municípios da área de estudo, que atualmente utilizam a captação de água superficial. Sendo assim, na alternativa 2, é necessário, captar menores volumes de água do que a alternativa 1, devido às menores perdas.

A Tabela 13 apresenta os resultados encontrados para a alternativa 2.

Tabela 13 – Custos da Alternativa 2 para o abastecimento humano: Implantação de poços para captação de água subterrânea

| | Item | Preço |
|----------|--|----------------------|
| 1 | Implantação de Poço tubular - Calcáreo | 1.258.409,86 |
| | Implantação de Poço Tubular (R\$/ano) | 439.778,06 |
| | Operação e Manutenção - 86 poços - Potência da bomba 2cv (R\$/ano) | 308.055,27 |
| | Consumo de energia elétrica (R\$/ano) | 510.576,53 |
| 2 | Adutora de Água Bruta - Material PVC- DN 100mm | 49.513.172,87 |
| | Custo anual de Implantação da adutora (R\$/ano) | 33.117.637,175 |
| | Operação e manutenção da adutora (R\$/ano) | 15.454.897,348 |
| | Custo anual total (R\$/ano) | 50.771.582,73 |
| | Vazão anual média (m³/s) | 0,392 |
| | Volume anual (m³/ano) | 12.368.419,20 |
| | Custo unitário (R\$/m³) | 4,10 |

Fonte: Próprio autor (2020).

Admitindo-se que os custos de cada alternativa correspondem à disposição a pagar do usuário, pode-se afirmar que o preço de reserva encontrado na alternativa 1 foi de R\$3,07/m³, sendo o primeiro par ordenado da função de demanda “tudo ou nada” (0,460; 3,07). E o custo da alternativa 2 foi de R\$ 4,10/m³, logo adotou-se como segundo par ordenado da função de demanda o ponto (0,392; 4,10).

De posse desses dois pares de pontos, é possível ajustar a função linear da demanda “tudo ou nada”, a partir dos coeficientes linear (α) e angular (β), a partir das equações 30 e 31.

$$\alpha = \frac{(p_1 * q_2 - p_2 * q_1)}{(q_2 - q_1)} \quad (31)$$

$$\beta = \frac{(p_2 - p_1)}{(q_2 - q_1)} \quad (32)$$

A equação da função de demanda “tudo ou nada” resultou em:

$$P = 10,12 - 15,33q$$

Considerando que essa é a curva média da receita total, obtém-se a receita total:

$$RT = 10,12q - 15,33q^2$$

Cuja a primeira derivada, que representa a função de demanda ordinária do setor de abastecimento humano, é:

$$p = \frac{dRT}{dq} = 10,12 - 30,67q$$

Como mencionado anteriormente, a curva de demanda ordinária é a curva de receita marginal, a partir da qual é possível obter a elasticidade-preço da demanda no ponto de demanda, sendo essa igual a:

$$\epsilon = \frac{dq}{dp} * \frac{p}{q} = \frac{1}{\frac{dp}{dq}} * \frac{p}{q} = \frac{1}{\frac{d}{dq}(10,12 - 30,67q)} * \frac{3,07}{0,460} = -0,22$$

Observa-se que a demanda do abastecimento humano na área estudada é inelástica, ou seja, apresenta elasticidade-preço da demanda, em valor absoluto, menor que uma unidade. Com o resultado encontrado, pode-se afirmar que caso haja um aumento do preço da água em 1%, a demanda sofre uma redução de 0,22%.

O mesmo procedimento foi realizado para os usuários da irrigação. Para a alternativa 1, adutora de água bruta advinda do rio São Francisco, considerou-se o ponto na vazão representada pela soma das outorgas da irrigação difusa (112 l/s) e do perímetro irrigado de Mirorós (871 l/s), que resultou em 983 l/s. Os custos de obtenção da água estimados para a alternativa 1 da irrigação são apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 - Custos da Alternativa 1 para a irrigação: Adutora de água bruta no leito principal do rio São Francisco

| | Item | Preço |
|---|--|----------------------|
| 1 | Adutora de Água Bruta - Material Ferro Fundido - DN 800mm | 34.934.990,48 |
| | Locação e Nivelamento (R\$/ano) | 3.585,61 |
| | Implantação da Adutora (R\$/ano) | 25.600.643,88 |
| | Operação e manutenção da adutora (R\$/ano) | 9.330.760,99 |
| 2 | Estação de Bombeamento - 2 estações com 1500 cv e 3600 cv | 24.104.327,69 |
| | Implantação da Estação de Bombeamento (R\$/ano) | 1.720.088,005 |
| | Operação e manutenção da Estação de Bombeamento (R\$/ano) | 3.698.189,32 |
| | Consumo de energia elétrica (R\$/ano) | 18.686.050,32 |
| | Custo anual total (R\$/ano) | 59.039.318,17 |
| | Vazão média anual (m ³ /s) | 0,983 |
| | Volume anual de água demandada (m ³ /ano) | 30.999.888,00 |
| | Custo unitário (R\$/m³) | 1,90 |

Fonte: Próprio autor (2020).

Enquanto que, para a alternativa 2, implantação de poços, considerou-se que dispondo de poços suficientes o perímetro poderá atingir a sua capacidade máxima de produção, logo sua demanda passaria a ser 1.300 l/s. Partiu-se desse pressuposto porque o perímetro irrigado de Mirorós já utiliza captação de água subterrânea como alternativa complementar à captação de água no Mirorós. Nessa alternativa considerou-se, então, a soma da outorga da irrigação difusa e a vazão máxima de uso do perímetro irrigado, resultando em 1.412 l/s. Os custos relacionados a essa são apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 - Custos da Alternativa 2 para a irrigação: Implantação de poços para captação de água subterrânea

| | Item | Preço do Item |
|----------|---|----------------------|
| 1 | Implantação de Poço tubular - Calcáreo | 867.970,66 |
| | Implantação de Poço Tubular (R\$/ano) | 326.553,71 |
| | Operação e Manutenção - 102 poços - Potência da bomba 2cv (R\$/ano) | 228.744,00 |
| | Consumo de energia elétrica (R\$/ano) | 312.672,95 |
| 2 | Adutora de Água Bruta - Material PVC- DN 200mm | 10.166.249,30 |
| | Custo anual de Implantação da adutora (R\$/ano) | 5.737.955,74 |
| | Operação e manutenção da adutora (R\$/ano) | 4.235.157,81 |
| | Custo anual total (R\$/ano) | 11.034.219,96 |
| | Vazão anual média (m³/s) | 1,412 |
| | Volume anual (m³/ano) | 44.528.832,00 |
| | Custo unitário (R\$/m³) | 0,25 |

Fonte: Próprio autor (2020).

O custo da alternativa 1 foi de R\$ 1,90/m³. Dessa forma, admitiu-se que essa é a disposição a pagar dos usuários para uma vazão de 0,983 m³/s. O primeiro par de pontos da função de demanda “tudo ou nada” da irrigação é (0,983; 1,90). Na alternativa 2, obteve-se o custo unitário de R\$ 0,25/m³, sendo o segundo par de pontos da função linear igual a (1,412;0,25). A equação da função de demanda “tudo ou nada”, utilizando os dois pares de ordenadas estimados resultou em:

$$P = 5,70 - 3,86q$$

A receita total então é dada por:

$$Rt = 5,70 - 3,86q^2$$

E a função de demanda ordinária, ou curva de receita marginal, estimada para irrigação:

$$\frac{dRT}{dq} = 5,70 - 7,72q$$

Considerando a curva de receita marginal estimada, obteve-se a elasticidade-preço da demanda igual a -0,25. O resultado encontrado também representa uma demanda inelástica para a irrigação, indicando que com uma variação do preço em 1% a demanda reduz em aproximadamente 0,25%

A estimativa dos custos de cada alternativa encontra-se detalhada nos apêndices D, E, F e G. O Quadro 10 resume as funções de demandas “tudo ou nada” dos usuários do reservatório Mirorós (irrigação e abastecimento humano) e suas elasticidades-preço da demanda correspondentes.

Quadro 10 - Demandas por água dos usuários do reservatório Mirorós e suas respectivas elasticidades-preços da demanda

| Uso | Demanda “Tudo ou Nada” | Demanda Ordinária | ϵ |
|----------------------|------------------------|-----------------------|------------|
| Abastecimento humano | $P = 10,12 - 15,33q$ | $p = 10,12q - 30,67q$ | 0,22 |
| Irrigação | $P = 5,70 - 3,86q$ | $P = 5,70 - 7,72q$ | 0,25 |

Fonte: Próprio autor (2020).

Os resultados encontrados nesse trabalho estão de acordo com a literatura, visto que a demanda da água, geralmente, é inelástica (valores absolutos entre 0 e 1). Isso porque a água é um bem dotado de grande valor para o usuário, pois não há um substituto direto e seu uso será necessário mesmo com grandes variações no preço. Carrera-Fernandez (1998) *apud* Carrera-Fernandez e Garrido (2002) estimou para os usuários das bacias hidrográficas dos rios Verde e Jacaré as elasticidades-preço da demanda para o abastecimento humano e irrigação em -0,86 e -0,17, respectivamente. Observa-se que para os usuários da irrigação, os valores estimados nesse trabalho encontram-se próximos aos estimados pelo autor. No entanto, para o abastecimento humano ocorre uma variação. Como mencionado anteriormente, a elasticidade-preço da demanda pode variar com diversos fatores variáveis ao longo do tempo, tais como a renda dos usuários e os custos das alternativas. Além disso, no presente estudo, considerou-se apenas os usuários do reservatório Mirorós, enquanto o autor estimou a elasticidade de todos os usuários das bacias hidrográficas dos rios Verde Jacaré.

5.2.2. Estimativa das curvas de demanda de água dos usuários do reservatório Mirorós

O primeiro resultado obtido foi o benefício líquido no ponto de operação (P_1, Q_1) dos usuários. A Tabela 16 apresenta os resultados para o setor de abastecimento humano obtidos a partir da equação 17.

Tabela 16 - Benefícios líquidos para o setor de abastecimento humano

| Município | Benefício marginal (R\$/m ³) |
|-------------------|--|
| 1 América Dourada | -0,093 |
| 2 Barra do Mendes | 0,011 |

| Município | Benefício marginal (R\$/m³) |
|--|---|
| 3 Barro Alto | -0,009 |
| 4 Cafarnaum | 0,008 |
| 5 Canarana | -0,019 |
| 6 Central | 0,025 |
| 7 Ibipêba | -0,002 |
| 8 Ibititá | -0,017 |
| 9 Irecê | 0,268 |
| 10 João Dourado | 0,040 |
| 11 Jussara | 0,015 |
| 12 Lapão | 0,013 |
| 13 Presidente Dutra | 0,020 |
| 14 São Gabriel | 0,013 |
| 15 Uibaí | 0,008 |
| 16 Itaguaçu da Bahia | 0,011 |
| Benefício total dos 15 municípios | 0,283 |
| Benefício total dos 16 municípios | 0,294 |

Fonte: Próprio autor (2020).

A Tabela 17 apresenta os resultados para o perímetro irrigado de Mirorós obtidos a partir da equação 19.

Tabela 17 - Benefício líquido para o Perímetro irrigado de Mirorós

| Tipo de lote | Benefício líquido (R\$) <i>(Prod * Preço - CM) * AC</i> | Uso de água (m³/ano) <i>Vcap_{Mirrorós} + Vcap_{poços}</i> | Benefício marginal (R\$/m³) |
|---------------------|---|---|---|
| Empresarial | 3.093.105,45 | 11.277.306 | 0,600 |
| Familiar | 3.678.112,40 | | |

Fonte: Próprio autor (2020).

A Tabela 18 apresenta o benefício líquido para os irrigantes a jusante do reservatório, conforme as equações 20 e 21.

Tabela 18 - Benefícios líquidos para os irrigantes a jusante

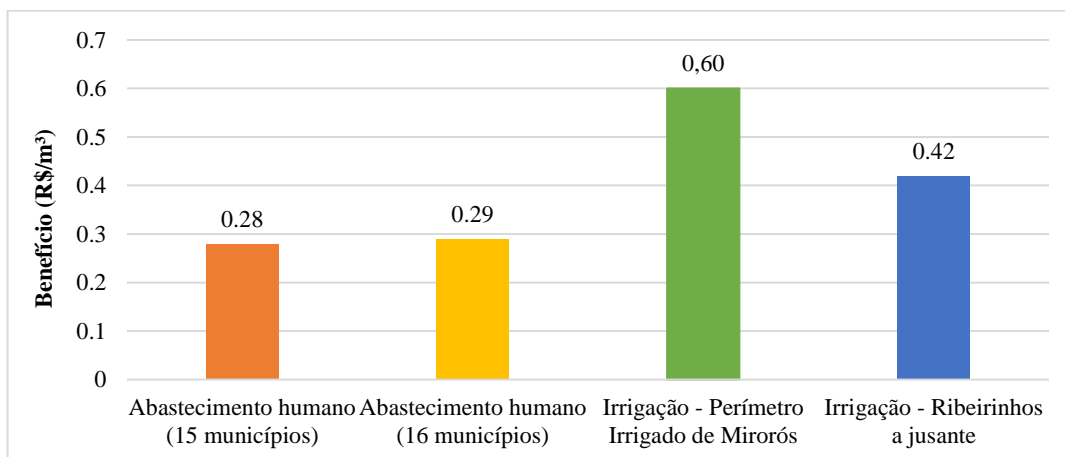
| Município | Ganho líquido da produção agrícola no município (R\$/ha) | Demanda (m³/s)³ | Área irrigada (ha/ano)³ | Valor da água (R\$/m³/ano) | Valor da água (R\$/m³) |
|-------------------|---|--|---|--|--|
| Ibipêba | 1.015,74 | 0,0191 | 28,4 | 0,048 | 0,418 |
| Itaguaçu da Bahia | 5.861,82 | 0,0924 | 184,19 | 0,370 | |

Fonte: Próprio autor (2020).

Notas: ¹ Dados da Produção Agrícola Municipal/IBGE referentes ao ano de 2017 / ² Dados do Censo Agropecuário/IBGE referentes ao ano de 2017.

Analisando o comportamento da demanda dos usuários de água no reservatório Mirorós, observou-se que os valores da água apresentados nas tabelas anteriores e na Figura 27, obtidos no ponto de operação (P₁, Q₁), foram maiores para o setor de irrigação do que para o setor de abastecimento humano, destacando-se ainda o Perímetro Irrigado de Mirorós.

Figura 27 - Valor da água para os usuários do Reservatório Mirorós no ponto de operação



Fonte: Próprio autor (2020).

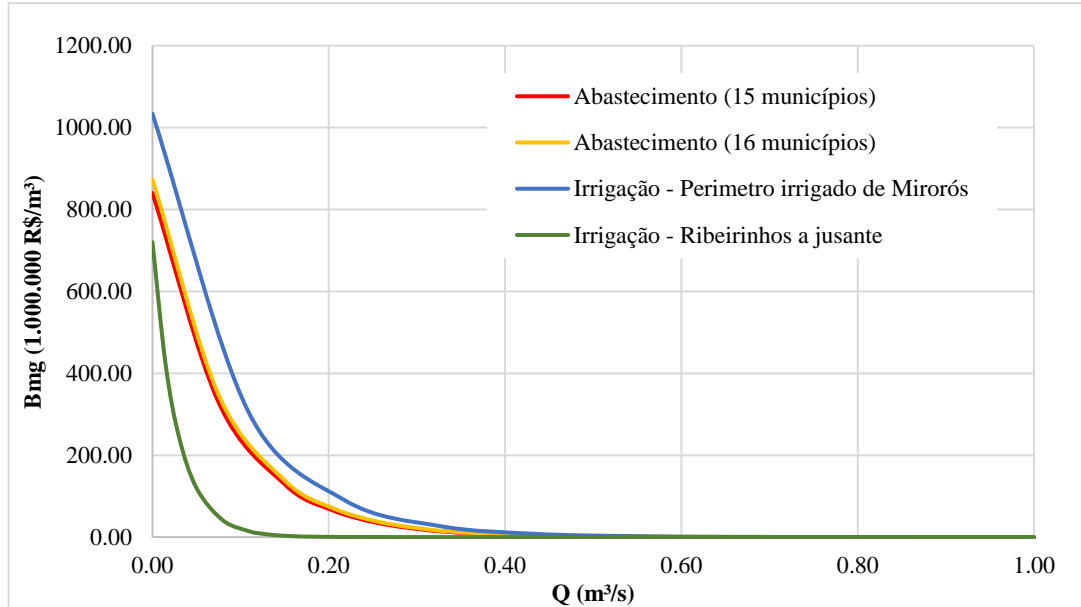
O valor da água para o abastecimento humano mais baixo foi consequência do valor do ganho líquido obtido pela companhia de abastecimento de água, que em alguns municípios foi negativo, mostrando uma baixa eficiência econômica. Considerando os dados do tópico “4.1.3 Dados para obtenção das curvas de demanda de água dos usuários” foi possível estimar que o benefício total obtido pelo usuário do abastecimento humano através da tarifação de água corresponde a R\$ 55.844.964,40, quando considerados os 16 municípios abastecidos pela companhia de saneamento. Enquanto o benefício obtido pela produção agrícola foi de R\$ 17.094.164,37 para o perímetro irrigado de Mirorós e R\$ 2.377.211,42 para os ribeirinhos a jusante do barramento. Observa-se que o valor obtido pelo usuário do abastecimento humano é muito maior do que pelos usuários da irrigação, no entanto as despesas da companhia de saneamento apresentaram valores elevados, gerando então um benefício líquido reduzido, o que acarretou em um valor da água no ponto de operação relativamente baixo, quando comparados aos demais usuários. Ressalta-se que o valor da água para o abastecimento humano considerando 16 municípios está incorporando o benefício líquido do município de Itaguaçu da Bahia, integrado ao SIAA Irecê após a construção da adutora do rio São Francisco.

O usuário do abastecimento humano pode melhorar o benefício líquido através de tecnologias e técnicas que visem a redução de perdas. Apesar de esse usuário apresentar índice de perdas menor que a média nacional, e demandar volume de água menor do que grandes usuários da irrigação, como o perímetro irrigado de Mirorós, é necessário buscar melhorias para aumento da eficiência econômica. Ressalta-se que o usuário da irrigação por ser um setor produtivo, com o objetivo de maximizar o lucro, apresenta maior rentabilidade.

As curvas de demanda da água estimadas para o abastecimento humano e para os dois usuários da irrigação, considerando as elasticidades-preço da demanda calculados pelo método “tudo ou

nada” ($\epsilon = -0,22$ para o abastecimento humano e $\epsilon = -0,25$ para irrigação), são apresentadas na Figura 28.

Figura 28 - Curva de Benefício marginal dos usuários do sistema hídrico Mirorós



Fonte: Próprio autor (2020).

As curvas são representadas pelas equações a seguir.

$$P_{AH16municípios} = 8,729 * 10^8 * e^{-12,287q}$$

$$P_{AH 15municípios} = 8,403 * 10^8 * e^{-12,497q}$$

$$P_{Perímetro irrigado} = 1,034 * 10^9 * e^{-11,1867q}$$

$$P_{irrigantes a jusante} = 7,202 * 10^8 * e^{-35,865q}$$

5.3. ANÁLISE DA APLICAÇÃO DA ABORDAGEM HIDROECONÔMICA NA ALOCAÇÃO DE ÁGUA

A seguir são apresentados os resultados das alternativas de alocação de água obtidas a partir das simulações no modelo AcquaNet.

5.3.1. Alternativas da alocação de água do sistema hídrico formado pelo Reservatório Mirorós e a Adutora do rio São Francisco

A primeira análise da modelagem hidroeconômica levou em consideração o sistema hídrico formado pelo reservatório Mirorós e a adutora do rio São Francisco, sendo propostas quatro alternativas, que variaram de acordo com as vazões afluentes ao reservatório e ao tipo de alocação utilizado, como mostra a Quadro 11.

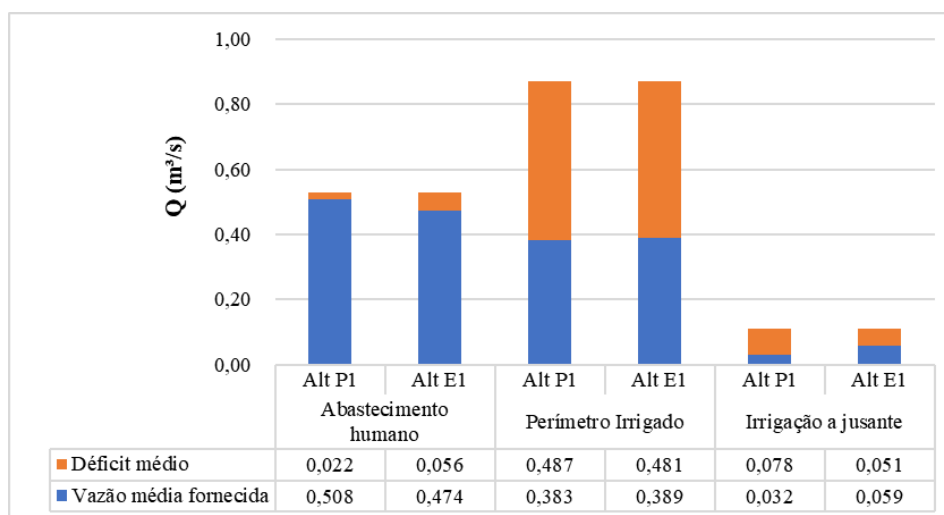
Quadro 11 - Alternativas de alocação: Reservatório Mirorós e Adutora do rio São Francisco

| Alternativa | Tipo de alocação | Vazões afluentes ao reservatório |
|-------------|---------------------------------|----------------------------------|
| P1 | Alocação por prioridades de uso | Próprio autor (2013-2020) |
| E1 | Abordagem Hidroeconômica | Próprio autor (2013-2020) |
| P2 | Alocação por prioridades de uso | ANA (1926-1933) |
| E2 | Abordagem Hidroeconômica | ANA (1926-1933) |

Fonte: Próprio autor (2020).

A Figura 29 apresenta os resultados obtidos da alocação entre os usuários nas alternativas de alocação considerando as vazões calculadas pelo próprio autor (2013-2020).

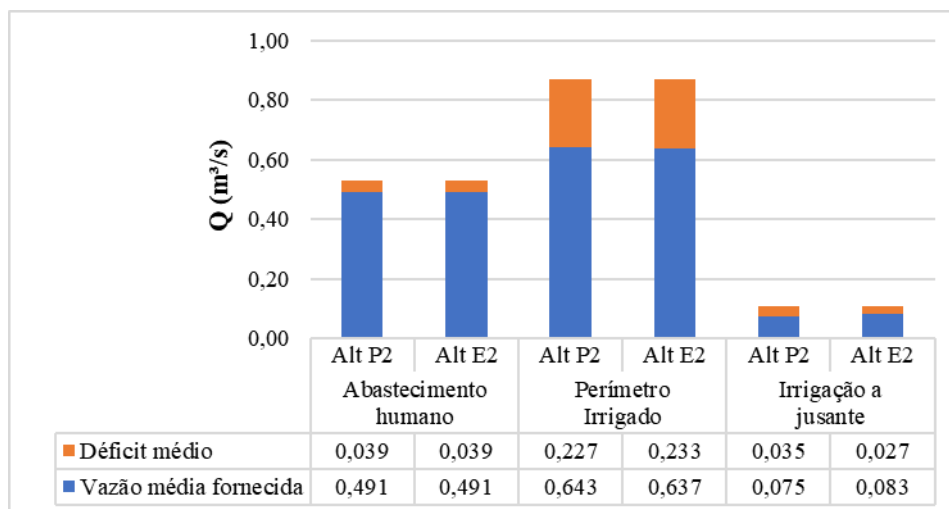
Figura 29 - Vazões fornecidas e *déficit* hídrico: reservatório Mirorós e adutora do rio São Francisco (2013-2020)



Fonte: Próprio autor (2020).

Analisando as alternativas E1 e P1 (2013-2020) observa-se que quando se incorpora a análise hidroeconômica, ocorre a redução da vazão fornecida para abastecimento humano e maior atendimento das demandas do perímetro irrigado e da irrigação a jusante. Em outras palavras, a maximização do benefício econômico ocorre quando há maior atendimento às demandas dos usuários da irrigação, destacando-se os irrigantes a jusante do reservatório. A Figura 30 apresenta os resultados das vazões alocadas nas alternativas simuladas com as vazões geradas pela ANA para o período de 1926 a 1933.

Figura 30 - Vazões fornecidas e *déficit* hídrico: reservatório Mirorós e adutora do rio São Francisco (1926-1933)



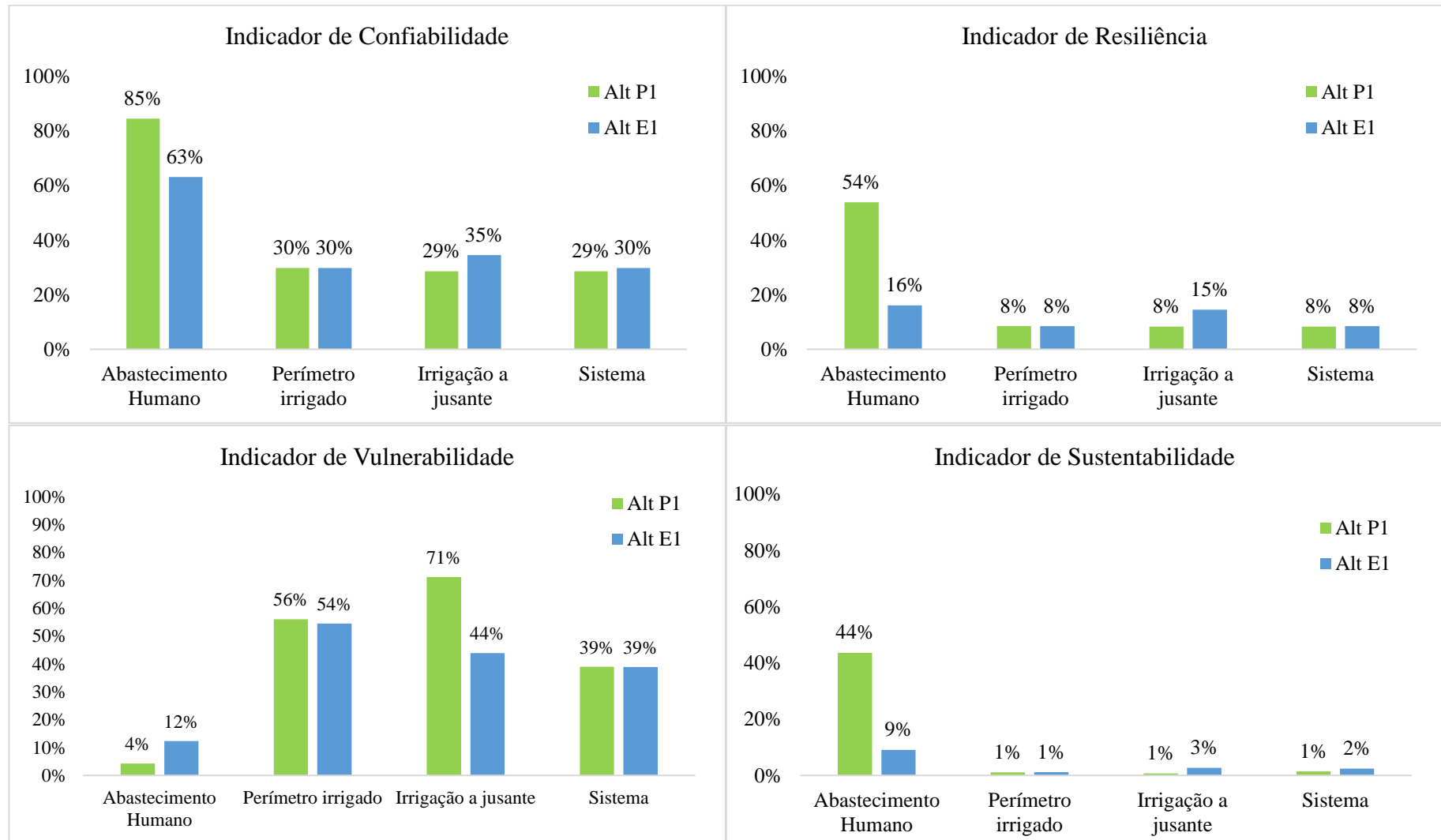
Fonte: Próprio autor (2020).

Nas alternativas P2 e E2 (1926-1933), não houve alteração da vazão fornecida para o abastecimento humano. Isso acontece porque o período de vazões mais críticas ocorreu no final da série histórica, sendo que nesses anos o rio São Francisco já possuía outorga para atendimento a todos os municípios, logo a adutora do São Francisco atendeu integralmente a demanda do abastecimento nesse período. Apenas os usuários da irrigação competiram pela oferta de água. Nesse caso, houve um aumento do *déficit* para o perímetro irrigado utilizando a abordagem hidroeconômica, ou seja, o modelo identificou a maximização do benefício econômico quando maior quantidade de água foi alocada para os irrigantes a jusante.

Ressalta-se que as duas séries históricas de vazões compreendem períodos críticos. Embora, os resultados tenham sido mais expressivos no período de vazões afluentes estimadas pelo autor (2013-2020), visto que houve maior *déficit* hídrico no sistema, evidenciando que, quanto mais crítico o sistema, maior foi a influência da abordagem hidroeconômica.

A Figura 31 apresenta os indicadores de desempenho (confiabilidade, vulnerabilidade, resiliência e sustentabilidade) estimados para as alternativas abordadas utilizando as vazões afluentes do período de 2013 a 2020.

Figura 31 – Indicadores de desempenho Reservatório Mirorós e Adutora do rio São Francisco - Período de vazões afluentes de 2013 a 2020



Fonte: Próprio autor (2020).

Os índices de desempenho do reservatório apresentaram comportamentos similares às vazões alocadas apresentadas anteriormente, observando variações mais significativas no desempenho do atendimento dos usuários do abastecimento humano e irrigantes a jusante.

Ao medir o risco do atendimento das demandas, o indicador de confiabilidade expressa um aumento no risco para o abastecimento humano quando se utiliza a abordagem hidroeconômica, e por outro lado, exprime maior confiabilidade para os irrigantes a jusante. Não ocorre alterações na confiabilidade do atendimento às demandas para o perímetro irrigado de Mirorós, visto que as vazões fornecidas para esse uso apresentaram pequena variação dentre as alternativas.

Considerando a capacidade de recuperação (resiliência) do sistema para atendimento às demandas, tem-se uma redução significativa para o abastecimento humano na alternativa econômica, concluindo assim que haverá períodos de falhas mais longos para atender a essa demanda. Ocorre o oposto com o uso da água para a irrigação a jusante, apesar de ainda baixo, o indicador de resiliência sofre um aumento na abordagem hidroeconômica da alocação de água. O perímetro irrigado de Mirorós não apresentou alterações na resiliência.

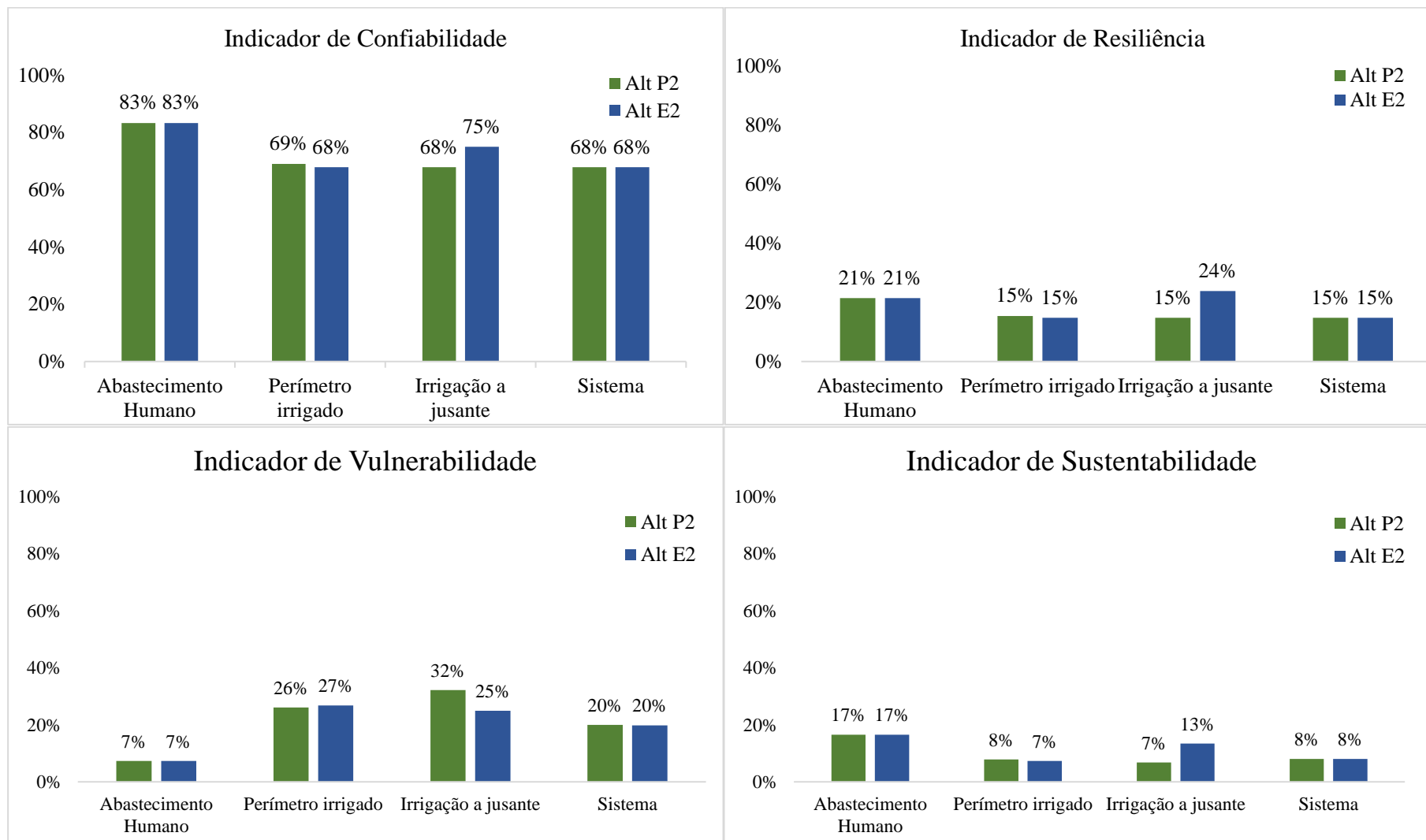
Em relação ao indicador de vulnerabilidade, destaca-se o uso da irrigação a jusante do reservatório, que apresentou melhorias significativas na vulnerabilidade, indicando que o atendimento a essa demanda apresenta falhas menos severas quando se incorpora a abordagem hidroeconômica. Verifica-se ainda que o usuário do abastecimento humano apresenta falhas mais severas na alternativa hidroeconômica, enquanto que, considerando o perímetro irrigado, ocorre pequena redução na vulnerabilidade do seu atendimento.

Com os indicadores anteriormente citados, foi possível compreender a sustentabilidade do sistema no atendimento aos usos, observando valores muito baixos e nenhuma ou pouca variação para os usuários do perímetro irrigado e irrigação a jusante. Enquanto a sustentabilidade do atendimento às demandas de abastecimento humano apresentou uma grande redução na análise hidroeconômica.

Analisando os índices de desempenho do sistema no período de 2013 a 2020, ou seja, avaliando todas as demandas em conjunto, não foram observadas alterações importantes ao incorporar a análise hidroeconômica. Podendo concluir que a análise dos indicadores de desempenho foi importante para avaliar o desempenho no atendimento por uso, e não do sistema hídrico em si.

A Figura 32 apresenta os indicadores de desempenho estimados para as alternativas que utilizam as vazões afluentes do período de 1926 a 1933.

Figura 32 – Indicadores de desempenho do Reservatório Mirorós e Adutora do rio São Francisco - Período de vazões afluentes de 1926 a 1933.



Fonte: Próprio autor (2020).

Como observado nos resultados das vazões alocadas, no período de vazões geradas pela ANA, os conflitos ocorrem principalmente entre as demandas do perímetro irrigado e dos usuários a jusante. Isso ficou evidenciado também nos resultados de desempenho do sistema hídrico.

Nota-se que para o abastecimento humano, os indicadores de desempenho não apresentaram variações, comprovando que nesse período a abordagem hidroeconômica não influenciou na alocação de água para o abastecimento humano.

Observando o desempenho do sistema para atender o perímetro irrigado, tem-se uma variação de apenas 1% para os indicadores de confiabilidade, vulnerabilidade e sustentabilidade, e não ocorre variação no indicador de resiliência.

Ao analisar a irrigação a jusante, observam-se resultados mais expressivos. Quando incorporada a abordagem hidroeconômica na alocação, a demanda dos usuários irrigantes a jusante apresentou maior confiabilidade de atendimento, maior capacidade de recuperação após a ocorrência de falhas e redução da severidade das falhas.

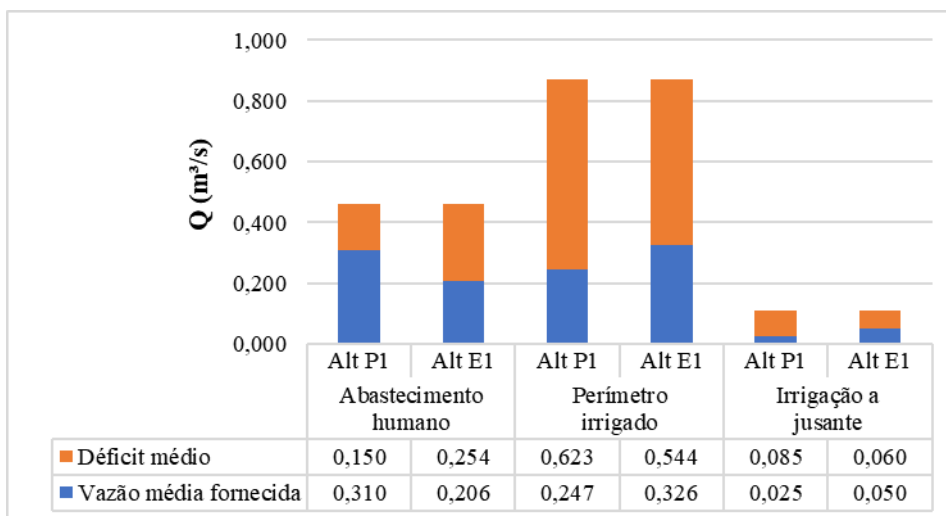
Como observado na discussão anterior, os índices de desempenho para avaliar o atendimento do conjunto das demandas não apresentaram variações significativas, expressando assim que a utilização de indicadores de desempenho em conjunto com a abordagem hidroeconômica será melhor utilizada na análise alocação de água por usuários isoladamente.

5.3.2. Alternativas da alocação de água no sistema hídrico formado pelo Reservatório Mirorós

Considerando apenas o reservatório Mirorós como única forma de atendimento das demandas, ou seja, caso não houvesse o reforço da adutora do RSF, observam-se comportamentos similares aos resultados da análise anterior.

A Figura 33 apresenta as vazões alocadas para o período de vazões afluentes estimadas pelo próprio autor (2013 a 2020).

Figura 33 - Vazões fornecidas e *déficit* hídrico: Reservatório Mirorós (2013-2020)

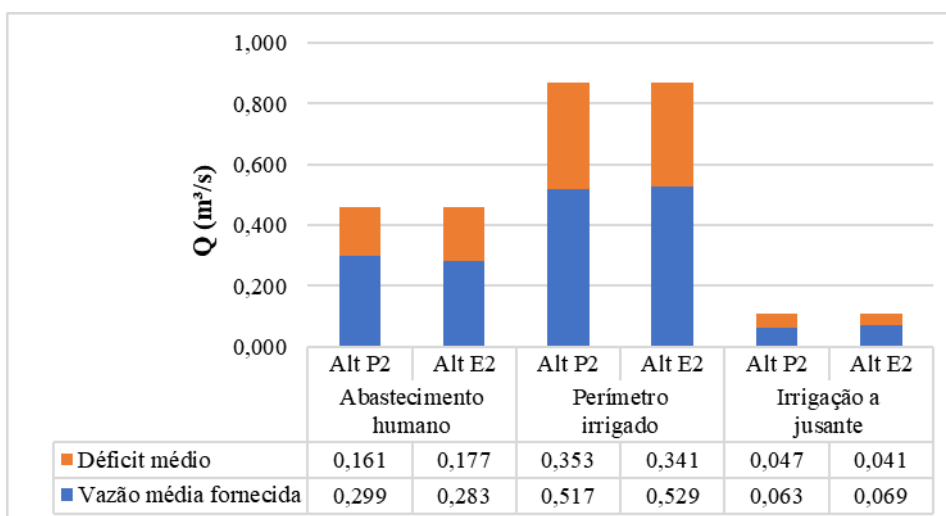


Fonte: Próprio autor (2020).

Como observado na primeira análise, quando a abordagem hidroeconômica foi inserida na alocação, ocorreu a redução das vazões fornecidas para o abastecimento humano e priorização do atendimento das demandas de irrigação. Dentre os usos de irrigação, destacou-se a demanda de água para a irrigação a jusante. Destaca-se ainda que o *déficit* médio para o abastecimento aumentou em quase 100%, mostrando que esse usuário teve maiores prejuízos na presente análise do que na anterior, isso porque anteriormente a adutora do rio São Francisco atendia parte das suas demandas.

A Figura 34 apresenta as vazões alocadas para o período de vazões afluentes geradas pela ANA (1926 a 1933).

Figura 34 - Vazões fornecidas e *déficit* hídrico: Reservatório Mirorós (1926-1933)



Fonte: Próprio autor (2020).

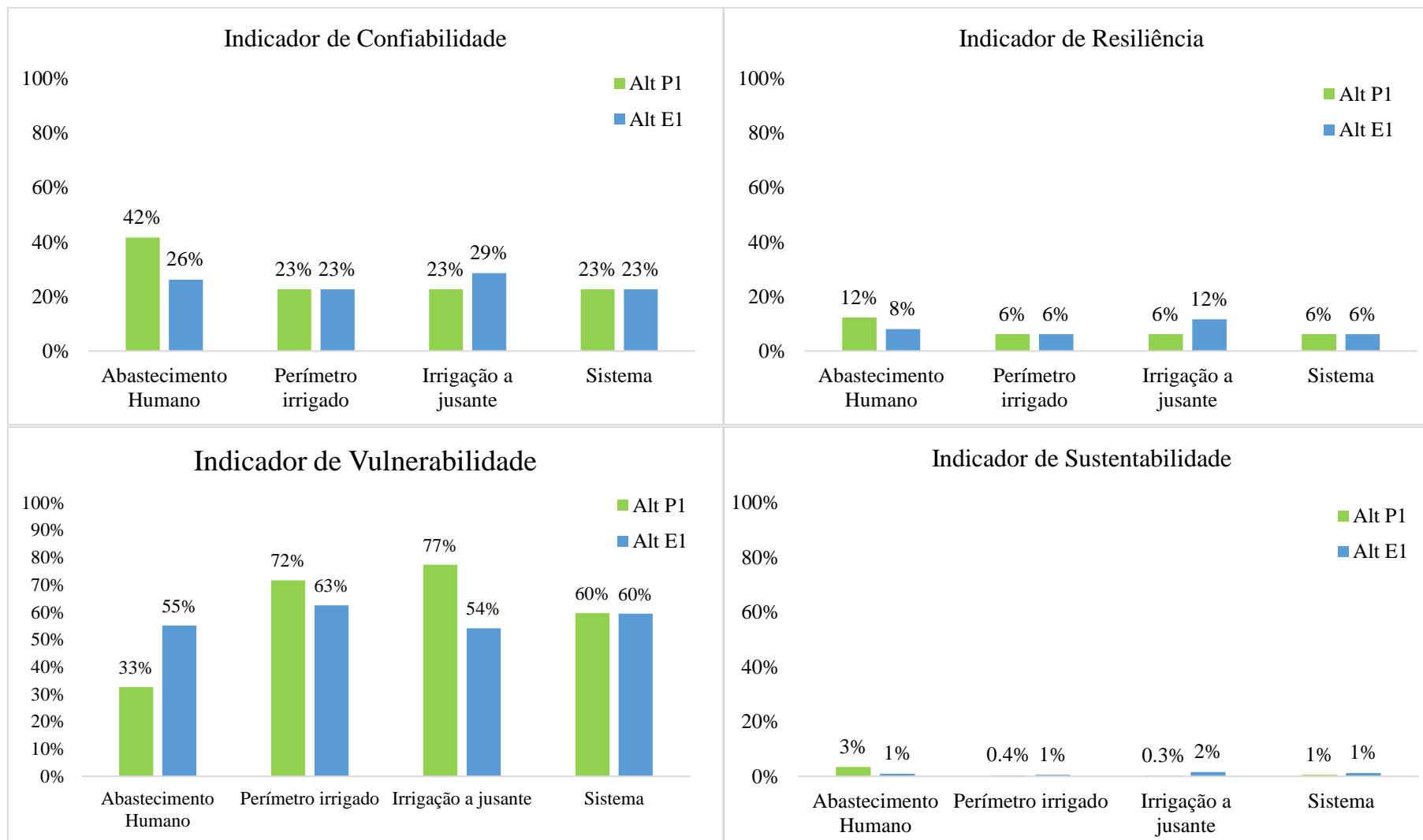
Os resultados para o período de 1926-1933 não apresentaram o mesmo comportamento da primeira análise. Quando se considerou apenas o reservatório Mirorós para atendimento das demandas, o uso do abastecimento humano apresentou maior *déficit*, e o oposto aconteceu com os usuários do perímetro irrigado e da irrigação a jusante.

Os índices de desempenho do reservatório são apresentados na Figura 35 e na Figura 36. Considerando os indicadores de confiabilidade, resiliência e sustentabilidade do reservatório após a análise econômica, tem-se a redução desses indicadores para o abastecimento humano, e melhorias para a irrigação a jusante. Esses indicadores de desempenho não apresentaram variações para o perímetro irrigado de Mirorós.

Ao considerar o índice de vulnerabilidade, as falhas tornam-se menos severas para irrigação a jusante e para o perímetro irrigado quando a análise hidroeconômica é incorporada ao processo de alocação de água. Ocorre então o aumento da severidade das falhas no atendimento das demandas do abastecimento humano. Esse comportamento foi observado para os dois períodos de vazões afluentes estudados (2013-2020 e 1926-1933).

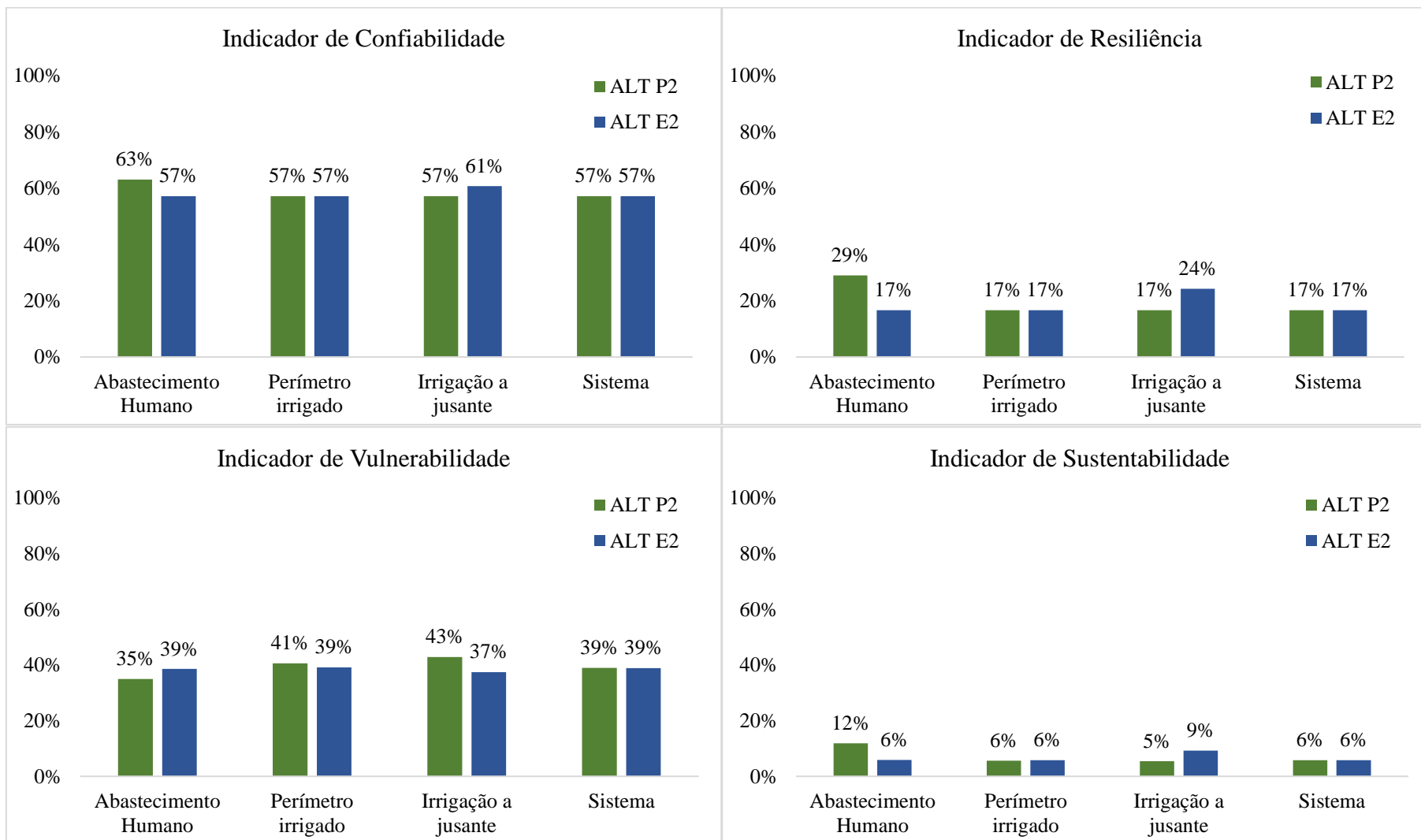
Os índices de sustentabilidade do reservatório apresentaram maiores variações para o atendimento ao abastecimento humano e aos irrigantes a jusante. Observa-se ainda que no período de 2013 a 2020, os resultados apresentados foram mais expressivos devido à maior criticidade do período, já citada anteriormente.

Figura 35 - Índices de desempenho: Reservatório Mirorós - Período de vazões afluentes de 2013 a 2020



Fonte: Próprio autor (2020).

Figura 36 - Índices de desempenho: Reservatório Mirorós - Período de vazões afluentes de 1926 a 1933



Fonte: Próprio autor (2020).

Ao comparar os resultados da primeira e segunda análises, observa-se que, mesmo o sistema não sendo capaz de atender todas as demandas na primeira análise, a adutora do rio São Francisco exerce um papel fundamental para aliviar a pressão sobre o reservatório Mirorós.

Enquanto a alocação por prioridades de usos tem como base a Política Nacional de Recursos Hídricos (abastecimento humano como uso prioritário em casos de escassez hídrica), a alocação utilizando a abordagem hidroeconômica ressalta a importância dos irrigantes a jusante para o desenvolvimento econômico.

Maiores desempenhos e benefícios econômicos são alcançados quando o abastecimento humano é atendido integralmente pela adutora do rio São Francisco e o reservatório Mirorós sendo responsável apenas pelos usuários do perímetro irrigado e irrigantes a jusante do reservatório. Ressalta-se que por apresentar a alternativa de captação no rio São Francisco, que é um manancial hídrico mais seguro, as decisões de alocação de água do sistema hídrico Mirorós apresentam maior flexibilidade, conforme mencionado por Souza (2020), possibilitando alocar maior quantidade de água para os outros usuários, no entanto o conflito persiste principalmente entre o perímetro irrigado e a liberação de água a jusante.

É importante destacar ainda que municípios como estes representados na área de estudo possuem grande parte das suas atividades econômicas voltada para a agropecuária. Sendo assim, os dois setores de usos, abastecimento humano e irrigação, possuem extrema importância, um como recurso natural de sobrevivência e o outro como recurso de subsistência de parte da população. Dessa forma, o uso da água para irrigação tem grande relevância nas discussões e tomadas de decisões sobre o uso da água.

5.3.3. Análise da distribuição dos benefícios/custos econômicos obtidos pelos usuários

A Tabela 19 apresenta de forma sintetizada os benefícios econômicos obtidos por cada usuário nas diferentes alternativas de alocação de água considerando o reservatório Mirorós com o reforço da adutora do rio São Francisco. Também são apresentados o valor da escassez total no período simulado e o custo de escassez associado à alocação de água. Para obter o custo de escassez, é necessário conhecer o benefício anual médio de um cenário com atendimento integral das demandas dos usuários. Os benefícios anuais médios para o atendimento de 100% das demandas, ou seja, os benefícios anuais máximos que os usuários poderiam alcançar, correspondem a R\$ 1.541.968.900,00 para o abastecimento humano, R\$ 1.275.806.000,00 para o perímetro irrigado, e R\$ 245.450.100,00 para os irrigantes ribeirinhos a jusante da barragem.

Tabela 19 – Benefícios econômicos e custos de escassez das alternativas de alocação de água – Reservatório Mirorós e Adutora do rio São Francisco

| Usuário | Dados econômicos | Alternativa 1 ¹ | | Alternativa 2 ² | |
|-----------------------------|---|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| | | Módulo de Alocação de Água (P1) | Módulo de Análise Econômica (E1) | Módulo de Alocação de Água (P2) | Módulo de Análise Econômica (E2) |
| Abastecimento humano | Escassez total (hm ³) | 4.941 | 12.273 | 8.620 | 8.620 |
| | Benefício anual médio (R\$1.000) | R\$1.493.089,50 | R\$1.399.109,80 | R\$1.398.047,00 | R\$1.398.047,20 |
| | Custo de escassez anual médio (R\$ 1.000) | R\$48.879,40 | R\$142.859,10 | R\$143.921,90 | R\$143.921,70 |
| | Custo de escassez (%) | 3,2% | 9,3% | 9,3% | 9,3% |
| Perímetro irrigado | Escassez total (hm ³) | 107.590 | 106.224 | 50.037 | 51.456 |
| | Benefício anual médio (R\$1.000) | R\$883.551,40 | R\$1.058.584,00 | R\$967.285,90 | R\$967.180,10 |
| | Custo de escassez anual médio (R\$ 1.000) | R\$392.254,60 | R\$217.222,00 | R\$308.520,10 | R\$308.625,90 |
| | Custo de escassez (%) | 30,7% | 17,0% | 24,2% | 24,2% |
| Irrigação a jusante | Escassez total (hm ³) | 17.266 | 11.248 | 7.805 | 6.044 |
| | Benefício anual médio (R\$1.000) | R\$72.064,61 | R\$173.179,50 | R\$166.555,40 | R\$184.973,80 |
| | Custo de escassez anual médio (R\$ 1.000) | R\$173.385,49 | R\$72.270,60 | R\$78.894,70 | R\$60.476,30 |
| | Custo de escassez (%) | 70,6% | 29,4% | 32,1% | 24,6% |
| Sistema | Escassez total (hm ³) | 129.797,00 | 129.745,00 | 66.462,00 | 66.120,00 |
| | Benefício anual médio (R\$1.000) | R\$2.448.705,51 | R\$2.630.873,30 | R\$2.531.888,30 | R\$2.550.201,10 |
| | Custo de escassez anual médio (R\$ 1.000) | R\$614.519,49 | R\$432.351,70 | R\$531.336,70 | R\$513.023,90 |
| | Custo de escassez (%) | 20,1% | 14,1% | 17,3% | 16,7% |

Fonte: Próprio autor (2020).

Notas: ¹ Vazões afluentes ao reservatório estimadas por próprio autor / ² Vazões afluentes ao reservatório estimadas pela ANA.

Como já discutido anteriormente, todos os cenários apresentaram *déficit* no atendimento das demandas, e por isso gerou-se um custo de escassez para cada usuário. Ao analisar os resultados da Alternativa 1, observa-se que, devido à realocação de vazões, quando se utilizou o módulo de análise econômica, o custo de escassez do abastecimento humano teve um aumento em aproximadamente 7%, enquanto que o perímetro irrigado e os irrigantes a jusante tiveram um decréscimo no seu custo de escassez, ou seja, seus benefícios médios aumentaram. Os resultados foram mais expressivos para os usuários ribeirinhos a jusante, onde o custo de escassez reduziu de 70% para 29%. É importante destacar que quando considerou-se o sistema como um todo, o custo de escassez na alternativa econômica reduziu em 6%, realocando a água de forma mais eficiente do ponto de vista econômico, atingindo o objetivo principal do módulo de análise econômica que é alocar as vazões de forma que ocorra a maximização do benefício total.

Na alternativa 2, observa-se que houve variação apenas para os irrigantes a jusante do reservatório, apresentando uma redução de aproximadamente 8% no custo de escassez. A realocação de vazões de acordo com os benefícios econômicos conferiu em uma redução do custo de escassez do sistema em 0,6%. As vazões afluentes ao reservatório utilizadas na alternativa 2 propiciaram melhor recuperação do nível do reservatório, que, no geral, conseguiu atender as demandas de uma forma mais satisfatória do que na alternativa 1, gerando resultados menos expressivos na análise econômica.

A Tabela 20 apresenta também os benefícios econômicos e custos de escassez considerando o reservatório Mirorós como única fonte de água disponível. Os benefícios máximos que os usuários obteriam desse sistema (atendimento de 100% das demandas) correspondem a R\$ 871.016.400,00 para o abastecimento humano, R\$ 1.275.806.000,00 para o perímetro irrigado e R\$ 245.450.100,00 para os irrigantes ribeirinhos a jusante da barragem

Tabela 20 – Benefícios econômicos e custos de escassez das alternativas de alocação de água – Reservatório Mirorós

| Usuário | Dados econômicos | Alternativa 1 ¹ | | Alternativa 2 ² | |
|-----------------------------|---|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| | | Módulo de Alocação de Água (P1) | Módulo de Análise Econômica (E1) | Módulo de Alocação de Água (P2) | Módulo de Análise Econômica (E2) |
| Abastecimento humano | Escassez total (hm ³) | 33.165 | 56.003 | 35.531 | 39.157 |
| | Benefício anual médio (R\$1.000) | R\$779.258,20 | R\$620.783,20 | R\$595.299,50 | R\$569.844,90 |
| | Custo de escassez anual médio (R\$ 1.000) | R\$91.758,20 | R\$250.233,20 | R\$275.716,90 | R\$301.171,50 |
| | Custo de escassez (%) | 11% | 29% | 32% | 35% |
| Perímetro irrigado | Escassez total (hm ³) | 137.628 | 120.047 | 78.025 | 75.240 |
| | Benefício anual médio (R\$1.000) | R\$471.061,70 | R\$999.574,50 | R\$801.258,00 | R\$868.406,40 |
| | Custo de escassez anual médio (R\$ 1.000) | R\$804.744,30 | R\$276.231,50 | R\$474.548,00 | R\$407.399,60 |
| | Custo de escassez (%) | 63% | 22% | 37% | 32% |
| Irrigação a jusante | Escassez total (hm ³) | 18.790 | 13.140 | 10.407 | 9.093 |
| | Benefício anual médio (R\$1.000) | R\$55.518,47 | R\$154.099,20 | R\$140.257,20 | R\$155.514,40 |
| | Custo de escassez anual médio (R\$ 1.000) | R\$189.931,63 | R\$91.350,90 | R\$105.192,90 | R\$89.935,70 |
| | Custo de escassez (%) | 77% | 37% | 43% | 37% |
| Sistema | Escassez total (hm ³) | 189.583 | 189.190 | 123.963 | 123.490 |
| | Benefício anual médio (R\$1.000) | R\$1.305.838,37 | R\$1.774.456,90 | R\$1.536.814,70 | R\$1.593.765,70 |
| | Custo de escassez anual médio (R\$ 1.000) | R\$1.086.434,13 | R\$617.815,60 | R\$855.457,80 | R\$798.506,80 |
| | Custo de escassez (%) | 45% | 26% | 36% | 33% |

Fonte: Próprio autor (2020).

Notas: ¹ Vazões afluentes ao reservatório estimadas por próprio autor/ ² Vazões afluentes ao reservatório estimadas pela ANA.

Nessa hipótese, observa-se um crescimento significativo dos custos de escassez, quando comparadas às alternativas com implantação da adutora do rio São Francisco, já que a disponibilidade hídrica reduz significativamente, implicando em maior escassez para os usuários.

Nota-se ainda que o custo da escassez do sistema reduziu de 45% na alternativa P1 para 25% na alternativa E1, evidenciando que a prioridade dada a determinado usuário pode impor grandes perdas econômicas para os demais usuários e para o sistema como um todo.

Nas regras de operação do sistema hídrico, a eficiência econômica é alcançada ao minimizar o somatório dos custos de escassez de todos os setores, ou seja, a maximização do somatório dos benefícios individuais. Sendo assim, os usuários que apresentarem menor valor agregado à água apresentarão maior escassez hídrica, e isso aconteceu com o abastecimento humano. O perímetro irrigado e os irrigantes a jusante, portanto, obtiveram maiores benefícios econômicos na alternativa de alocação utilizando a abordagem hidroeconômica.

Analisando as alternativas P2 e E2, observa-se o mesmo comportamento obtido nas alternativas P1 e E1, porém com variações mais sutis. Vale lembrar que nas alternativas 2, a disponibilidade hídrica é maior.

Embora a minimização do custo de escassez do sistema ocorra quando menor quantidade de água é alocada para o abastecimento humano, é importante ressaltar que quando esse uso não possui outro manancial para captação, alocar a água considerando apenas a maximização dos benefícios econômicos pode contradizer o fundamento da Lei das Águas, que define o consumo humano como uso prioritário em casos de escassez hídrica, podendo ser considerada uma fragilidade da implementação isolada da abordagem hidroeconômica.

5.4. CONTRIBUIÇÕES PARA O SINGREH

Através da inserção da abordagem hidroeconômica no processo de alocação negociada de água, busca-se simular o comportamento do sistema hídrico, quantificar o valor da água e perdas econômicas relacionadas às restrições de uso, e auxiliar as tomadas de decisões na alocação de água em reservatórios que apresentem escassez hídrica.

Como mencionado no referencial teórico desse trabalho, existem alguns mecanismos de alocação de água, sendo o mais utilizado no Brasil a “Administração Pública da Água”, que consiste na distribuição, por parte do poder público, de cotas de uso da água, as denominadas outorgas de uso. Para Ambrosio e Formiga-Johnsson (2018), a outorga é um importante mecanismo de alocação a longo prazo, porém insuficiente em crises hídricas, quando é

necessária sua revisão a curto prazo. Dessa forma, a alocação negociada de água torna-se um instrumento mais eficiente na resolução de conflitos de uso da água.

Em regiões com escassez hídrica acentuada, como o semiárido brasileiro, estabeleceu-se um modelo de alocação que associa a administração pública com a alocação negociada de água. Sendo assim, a alocação negociada de água e os marcos regulatórios são abordagens adotadas quando a disponibilidade de água é menor que as demandas outorgadas (SALES, 2013; OCDE, 2015). A alocação negociada de água representa a gestão descentralizada e participativa nos processos de tomadas de decisões em regiões que apresentam escassez hídrica, contribuindo para minimizar os conflitos pelo uso da água (ANA, 2013a). A alocação negociada de água tem como ponto de partida das discussões o comportamento hidrológico do manancial.

Na alocação negociada em reservatórios realizada pela Cogerh realiza-se a simulação do esvaziamento do reservatório para diversas retiradas, a fim de estabelecer os cenários de liberação de água para os usuários em um determinado período. Os cenários são apresentados e servem como base para a negociação da alocação de água junto aos usuários nas reuniões de planejamento da operação do reservatório (PINHEIRO *et al*, 2011). Metodologia similar é adotada pela ANA, sendo os cenários propostos e suas respectivas curvas de esvaziamento do reservatório apresentados aos usuários nas reuniões de alocação de água. Os atores envolvidos apresentam decisões baseadas nos dados hidrológicos apresentados e em seus interesses e, geralmente, não tomam conhecimento dos custos ou benefícios econômicos associados às regras de alocação de água.

A OCDE (2015) cita que uma das limitações da alocação de água é a não maximização do potencial dos recursos hídricos. Em sistemas hídricos em que a água se torna um fator limitante para o desenvolvimento econômico, é importante maximizar os benefícios econômicos, porém isso exigirá a utilização de abordagens mais sofisticadas no processo de alocação de água. Caso contrário, a alocação da água dificilmente será eficiente, e não existirá mecanismos que garantam a racionalidade do uso, em termos sociais, econômicos ou ambientais, o que pode gerar aumento dos conflitos entre os usos.

Silva (2017) ressalta que as restrições de uso da água devem representar o regime hidrológico, mas que precisam ser acompanhadas da mensuração de retornos socioeconômicos, buscando tornar a avaliação de impactos econômicos e sociais parte do processo de tomada de decisão. Os instrumentos econômicos possuem grande potencial de alcançar a eficiência econômica na alocação de água (OCDE, 2015).

Com base na metodologia apresentada nesse trabalho, é possível comparar os cenários de restrições de uso com base nos benefícios econômicos, e assim mensurar os custos econômicos para cada usuário, e para o sistema, de acordo com as políticas de uso adotadas.

Livele (2015) afirma que conhecer o valor econômico da água alocada é fundamental para o planejamento e gestão eficiente do uso da água, citando que os gestores ou entidades reguladoras da gestão de recursos hídricos podem utilizar o benefício econômico como base complementar para decisão de oferta de água para os usuários. Além disso, o autor cita que os usuários agrícolas, ao tomar conhecimento dos custos de escassez da água, podem ser induzidos ao uso racional de água e à maximização de sua produtividade por m³ captado. Machado (2009) complementa que a estimativa do valor econômico da água é uma importante medida para definir políticas públicas relacionadas à alocação de água, visto que, em casos de escassez hídrica, estimar a decisão da quantidade de água a ser alocada para determinado usuário implica na restrição de uso de outros usuários do mesmo sistema hídrico, e conseqüentemente implica em perdas econômicas.

No entanto, destaca-se que considerar apenas a maximização do benefício econômico não torna a alocação ideal. Conforme já mencionado, a alocação de água deve atender múltiplos aspectos, entre eles a equidade, a proteção ambiental, o uso eficiente da água, o bem estar-social e a eficiência econômica.

Através da associação entre a alocação negociada e a análise hidroeconômica, é possível buscar um equilíbrio entre eficiência econômica e social, relacionando os instrumentos de controle e os instrumentos econômicos. Não espera-se que a abordagem hidroeconômica substitua a alocação negociada da água praticada nos sistemas hídricos, mas que seja uma abordagem complementar ao processo, sendo mais um subsídio para as tomadas de decisão dos gestores e usuários. Posto isso, propõe-se nesse trabalho a inserção da abordagem hidroeconômica na alocação negociada de água.

Durante o processo de alocação negociada, a ANA realiza a simulação de três cenários de atendimento dos usos para o ano hidrológico seguinte. Considerando essa metodologia, propõe-se o acréscimo de um cenário que tenha como objetivo a maximização dos benefícios totais, podendo ser simulado no Módulo de Análise Econômica do AcquaNet. Sendo assim, os cenários propostos para o processo são:

- Cenário 1: considerando as características hidrológicas e as prioridades de uso da água.
- Cenário 2: considerando as características hidrológicas e as prioridades de uso da água.

- Cenário 3: considerando as características hidrológicas e as prioridades de uso da água.
- Cenário 4: aborda as restrições econômicas através da simulação hidroeconômica, considerando as características hidrológicas e as curvas de benefício marginal.

Além disso, propõe-se a análise econômica dos quatro cenários simulados, com o objetivo de estimar o benefício anual médio e o custo de escassez de cada cenário de alocação de água. Durante a reunião de alocação de água do sistema hídrico, os cenários de vazões alocadas devem ser apresentados juntamente com a curva de esvaziamento do reservatório, seus benefícios econômicos e custos de escassez. Assim sendo, realizar a análise econômica dos cenários de alocação de água permitirá ao usuário avaliar o impacto econômico dos cenários de alocação de água, auxiliando sua tomada de decisão.

Nesse sentido, os gestores têm o valor econômico como base complementar para a decisão da oferta de água entre os usuários, podendo, ainda, auxiliar na cobrança pelo uso da água. Para Brigagão (2006), ao conhecer o valor da água, podem ser adotados preços de cobrança compatíveis com o valor econômico, com o objetivo de reduzir as demandas em excesso pelo recurso. O autor ressalta ainda que a cobrança é um instrumento que objetiva induzir o usuário a internalizar o efeito externo negativo que causa aos demais usuários, tornando o uso mais eficiente. Sendo assim, o valor que induz os usuários a utilizar o recurso em um nível socialmente ótimo é o custo social da água. Carrera-Fernandez e Garrido (2002) citam que uma alternativa eficiente para representar o valor social da água é a definição do preço de reserva, que foi utilizado nessa pesquisa para determinar a disposição a pagar do usuário.

Portanto, o presente trabalho oferece uma contribuição metodológica para implementar os instrumentos da gestão de recursos hídricos, objetivando o uso integrado e racional da água e atendendo aos fundamentos da Política Nacional de Recursos Hídricos. Através da participação dos usuários nas reuniões de negociação, atende-se ao fundamento da gestão participativa e descentralizada dos recursos hídricos; e através da análise hidroeconômica, reconhece-se a água como recurso natural limitado e dotado de valor econômico. Posto isso, o presente trabalho está inserido na linha de pesquisa “Metodologias para Implementação dos Instrumentos de Gestão de Recursos Hídricos”, que pertence à área de concentração “Instrumentos da Política de Gestão de Recursos Hídricos”.

Partindo dessas considerações, o produto técnico desse trabalho (Apêndice G) consiste em um fluxograma de processo da alocação negociada de água com a inserção da abordagem hidroeconômica.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com a Política Nacional de Recursos Hídricos, a água é um recurso natural limitado e dotado de valor econômico. A partir do momento em que a água se torna escassa, ocasionando conflitos entre os usuários, as demandas precisam ser consideradas como demandas variáveis. Na economia, a demanda de água varia com o seu preço. O gerenciamento da demanda a partir da implementação de mecanismos econômicos pode tornar o uso do recurso mais eficiente. Sendo assim, diversos autores defendem a análise dos valores econômicos na alocação de água, resultando em uma análise hidroeconômica. No entanto, nos atuais processos de planejamento e gestão das águas, geralmente se considera a demanda de água como um valor fixo.

No sentido de minimizar estas falhas, o objetivo geral dessa pesquisa foi estabelecer procedimentos para a implementação da abordagem hidroeconômica no processo de alocação de água em reservatórios que apresentam conflitos de uso envolvendo a irrigação. A área de estudo escolhida foi o reservatório Mirorós, que apresenta um regime hidrológico crítico e apresentam conflitos de uso da água envolvendo três principais usuários: o abastecimento humano, o perímetro irrigado de Mirorós e os irrigantes ribeirinhos a jusante do reservatório. O alcance do objetivo proposto foi possível em função do alcance de três objetivos específicos.

Inicialmente, buscou-se identificar os pontos estratégicos e restrições ao processo de alocação de água no reservatório, possibilitando conhecer as forças, fraquezas, oportunidades e ameaças do atual processo de alocação de água, através da matriz SWOT. Sendo assim, observou-se que a alocação negociada de água do reservatório apresenta diversos aspectos positivos que auxiliam na gestão dos recursos hídricos. No entanto, algumas dificuldades precisam ser superadas para proporcionar melhorias ao processo, como por exemplo a incerteza dos dados. Concluiu-se que a associação da alocação negociada com a abordagem hidroeconômica pode subsidiar as tomadas de decisões dos usuários, através da incorporação de mais um aspecto a ser analisado na alocação: o valor econômico de água.

Após conhecer a realidade da alocação de água no reservatório, buscou-se determinar o comportamento da demanda por água dos seus usuários, através das curvas de benefício marginal (curvas de demanda). As curvas foram obtidas através do método de Expansão do Ponto, com a complementação do método curva de demanda “tudo ou nada” para determinação das elasticidades-preço da demanda. As curvas de demanda apresentaram os preços que os usuários estão dispostos a pagar para determinadas quantidades de água. Ao analisar o valor econômico da água nos pontos de operação, foi possível concluir que o valor da água obtido para o abastecimento humano foi menor que o valor da água para os usuários da irrigação.

O último objetivo específico foi analisar a influência da abordagem hidroeconômica na alocação. Para alcançar esse objetivo foi realizada uma análise comparativa de alternativas de alocação de água utilizando duas abordagens: a alocação de água por prioridades e a alocação de água com base na abordagem hidroeconômica. A abordagem hidroeconômica buscou maximizar o somatório dos benefícios econômicos de cada usuário. Sendo assim, maior quantidade de água foi alocada para os usuários que apresentaram maior valor agregado à água, que nesse caso foram os irrigantes ribeirinhos a jusante e o perímetro irrigado.

O trabalho utilizou ainda indicadores de desempenho do reservatório (confiabilidade, resiliência, vulnerabilidade e sustentabilidade) para fins comparativos das alternativas, e concluiu-se que esses indicadores não apresentaram grandes variações quando se considerou o sistema como um todo, mas obtiveram variações significativas ao analisar o atendimento de cada usuário isoladamente. Com a utilização da abordagem hidroeconômica, observou-se melhorias mais significativas nos indicadores de atendimento da demanda dos irrigantes ribeirinhos a jusante do reservatório.

A partir da estimativa dos benefícios econômicos da alocação de água, concluiu-se que as prioridades de uso da água estabelecidas para o abastecimento humano geraram elevados custos de escassez para os usuários da irrigação e para o sistema como um todo, tornando a alocação de água menos eficiente do ponto de vista econômico. Contudo, considerando que o abastecimento humano é um uso essencial e prioritário em casos de escassez hídrica, fundamentado pela Política Nacional de Recursos Hídricos, considerou-se que a recomendação de utilizar a abordagem hidroeconômica nesse caso é aceita quando o usuário do abastecimento humano possui um manancial alternativo seguro para captação de água, como é o caso do SIAA Irecê, que além de possuir a outorga de captação no reservatório Mirorós, dispõe da captação de água no rio São Francisco para atendimento de suas demandas de forma integral.

Com as análises realizadas, concluiu-se que nem sempre as prioridades de uso da água estabelecidas para um sistema hídrico refletem em uma solução economicamente eficiente, visto que os benefícios adquiridos por determinados usuários podem impor elevados custos aos demais. No entanto, destaca-se que não é interessante considerar apenas a maximização do benefício econômico na alocação, sendo necessário considerar diversos aspectos, como por exemplo as prioridades de uso da água. A partir disso, foi proposta a incorporação da abordagem hidroeconômica na alocação negociada de água, possibilitando ao usuário avaliar os impactos econômicos das alternativas de alocação de água, e sendo assim, mais um subsídio para as tomadas de decisão dos gestores e usuários.

Diante do exposto, foi validada a hipótese de que incorporar os aspectos econômicos no processo de alocação de água já existente pode subsidiar as tomadas de decisões, e com base nas etapas realizadas foi gerado o produto técnico: PROCEDIMENTOS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DA ABORDAGEM HIDROECONÔMICA NA ALOCAÇÃO NEGOCIADA DE ÁGUA EM RESERVATÓRIOS.

6.1. LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Apesar de atingir os objetivos, no decorrer da pesquisa, foram encontradas algumas limitações, que precisam ser relatadas com o objetivo de possibilitar melhorias em pesquisas futuras acerca do tema. A ausência dos dados de medição das vazões afluentes ao reservatório foi uma limitação importante para o desenvolvimento do trabalho, forçando a utilização de vazões afluentes geradas, o que resultou em menor confiabilidade na análise. Entre os dados disponíveis, identificou-se falhas no histórico de volumes do reservatório em longos períodos o que impossibilitou a análise do balanço hídrico do sistema em maior período de tempo.

A ausência e falha dos dados de captação de água pelos usuários do reservatório podem ter ocasionado subestimativas ou superestimativas das demandas utilizadas no balanço hídrico. Destaca-se ainda que a maioria dos dados de outorgas estaduais disponibilizados pela entidade reguladora apresentam prazos de validades vencidos, sendo assim as demandas de água dos irrigantes a jusante do reservatório consideradas na simulação de alocação de água podem não representar o real uso da água.

Em relação aos dados econômicos utilizados para a construção da curva de demanda, tem-se, principalmente, a incerteza dos dados utilizados para os irrigantes a jusante, pois foram estimados a partir do censo agropecuário do IBGE, não podendo afirmar que esses dados representam os usuários da área de estudo. Além disso, os preços de reserva da água utilizados para determinação das elasticidades-preços da demanda do abastecimento humano e da irrigação apresentam incertezas, pois as estimativas realizadas não substituem o orçamento específico das alternativas propostas.

Em se tratando da metodologia abordada, destaca-se uma limitação do método de expansão do ponto que está relacionada à utilização da elasticidade-preço da demanda como um valor constante. Como a elasticidade-preço da demanda representa variações relativas na quantidade e no preço, esse valor varia com o ponto de operação utilizado para sua determinação. Sendo assim, utilizar um valor único da elasticidade para toda a curva de demanda confere em

imprecisão do valor da água em pontos distantes do ponto utilizado como base para a sua estimativa.

Ressalta-se ainda que as demandas de água variam de acordo com a sazonalidade, aspecto não considerado nessa pesquisa, sendo assim uma limitação da metodologia. Destacam-se principalmente os usuários de irrigação, visto que as necessidades hídricas das culturas variam significativamente com o estágio de desenvolvimento e com as condições climáticas (período seco ou chuvoso).

Por fim, no modelo hidroeconômico utilizado, não foram avaliados os benefícios econômicos da proteção ambiental, sendo essa considerada apenas por restrições hidrológicas.

Mesmo existindo limitações, o rigor metodológico permitiu alcançar validade científica, e assim atingir os objetivos propostos e testar a hipótese formulada.

6.2. RECOMENDAÇÕES

Com o objetivo de minimizar as limitações citadas pode-se fazer algumas recomendações:

- Obtenção de dados e informações mais precisas e confiáveis, buscando maior proximidade dos resultados com a realidade do sistema hídrico;
- Realização de orçamentos mais precisos das obras propostas como alternativas para captação de água, a fim de determinar preços de reserva do uso da água mais próximos da real disposição a pagar dos usuários;
- Variação das demandas de água para irrigação de acordo com a sazonalidade. Uma alternativa que pode ser utilizada é a modelagem hidroeconômica incorporando necessidades hídricas da cultura com base nas características do solo, do clima e da própria cultura. Nesse caso, as demandas de irrigação não seriam fornecidas pelo operador do modelo, mas sim calculadas pelo próprio modelo através do balanço hídrico no solo;
- Estudo da estimativa de curvas de benefício marginal da vazão ambiental, buscando incorporar os benefícios e custos de escassez da proteção ambiental ao processo de alocação de água;
- Utilização de uma abordagem multicritério para a alocação de água, considerando as restrições hidrológicas, as prioridades de uso e os benefícios econômicos, visto que a depender do benefício econômico, a análise hidroeconômica individualmente

pode priorizar outros usuários e desconsiderar a prioridade do usuário do abastecimento humano estabelecida pela Política Nacional de Recursos Hídricos.

- Por fim, recomenda-se a análise da abordagem hidroeconômica na alocação de água envolvendo outros setores usuários, visto que os conflitos pelo uso da água se estendem a múltiplos usos, tais como geração de energia hidrelétrica, piscicultura, depuração de efluentes, entre outros.

7. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA PEIXE VIVO. Plano Municipal de Saneamento Básico de Xique-Xique: Prognóstico, programas, projetos e ações. 2018.

AGERSA - Agência Reguladora de Saneamento Básico do Estado da Bahia. Relatório de fiscalização: sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário da Adutora do Feijão. Salvador, 2016. Disponível em: www.agersa.ba.gov.br/wp-content/uploads/2013/01/relatorio-irece.pdf. Acesso em: 18 jan. 2020

ALOVISI JR, V.; BEREZUK, A. G. Análise comparativa de Gestão de Recursos Hídricos em Portugal e no Brasil. Revista Recursos Hídricos, v 33, n. 1, p. 75-84, maio 2012. Disponível em: <https://www.aprh.pt/rh/pdf/rh33_n1-6.pdf> Acesso em 21 mar. 2020.

AMBROSIO, L. L.; FORMIGA-JONHNSSON, R. M. Alocação de água nas bacias dos rios Paraíba do Sul e Guandu. Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego, Campos dos Goytacazes/RJ, v.12, n.2, p. 215-233, jul./dez. 2018.

ANA - Agência Nacional de Águas. Sistema de Acompanhamento de Reservatório (SAR): Dados históricos - Reservatório Mirorós (Manoel Novais), 2020a. Disponível em <<https://www.ana.gov.br/sar0/MedicaoSin>> Acesso em: 15 jun. 2020.

_____. Outorgas emitidas, 2020b. Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/regulacao/principais-servicos/outorgas-emitidas>>. Acesso em: 11 mar. 2020.

_____. Alocação de água, 2019a. Disponível em: www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/outorgaefiscalizacao/alocacao_agua.aspx. Acesso em: 17 maio 2019.

_____. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2019: informe anual. Brasília: ANA, 2019b. 100p.

_____. Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada. Brasília: ANA, 2017a. 86p.

_____. Reservatórios do Semiárido Brasileiro: Hidrologia, Balanço Hídrico e Operação – Relatório Síntese. Brasília: ANA, 2017b. 88p.

_____. Nota Técnica nº 23/2017/COMAR/SRE. Marco Regulatório estabelecendo condições de uso dos recursos hídricos no sistema hídrico Cocorobó, no Estado da Bahia. Brasília: ANA, 2017c.

_____. Nota Técnica nº 6/2017/COMAR/SRE. Marco Regulatório estabelecendo condições de uso dos recursos hídricos no sistema hídrico Ceraíma, no Estado da Bahia. Brasília: ANA, 2017d.

_____. Nota Técnica nº 13/2017/COMAR/SER. Marco Regulatório estabelecendo condições de uso dos recursos hídricos no sistema hídrico Mirorós, no Estado da Bahia. Brasília: ANA, 2017e.

_____. Reservatórios do Semiárido Brasileiro: Hidrologia, Balanço Hídrico e Operação – Anexo E: Capibaribe, Contas, Ipojuca, Vaza-Barris e Afluentes do São Francisco. Brasília: ANA, 2017f. 178 p.

_____. Nota Técnica nº 10/2015/COMAR/SRE. Metodologia para Alocação de Água em Açudes Isolados. Brasília: ANA, 2015.

_____. Cobrança pelo Uso de Recursos Hídricos. Cadernos de Capacitação em Gestão de Recursos Hídricos. Brasília: ANA, 2014. 80 p.

_____. Alternativas organizacionais para gestão de recursos hídricos. Cadernos de Capacitação em Gestão de Recursos Hídricos. Brasília: ANA, 2013a. 121 p.

_____. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2013. Brasília: ANA, 2013b. 432p.

_____. Planos de recursos hídricos e enquadramento dos corpos de água. Cadernos de Capacitação em Gestão de Recursos Hídricos, v.5. Brasília: ANA, 2013.

_____. A Evolução da Gestão dos Recursos Hídricos no Brasil. Brasília: ANA, 2002. 32p.

ANDRADE, P. R. G. S. de. Estudo para alocação ótima das águas de um sistema de Reservatórios em série e em paralelo, para usos e objetivos múltiplos, na bacia do rio Capibaribe, PE. 2006. 227 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos) – Centro de Ciências e Tecnologias, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, 2006.

AZEVEDO NETTO, J. M. de. Manual de hidráulica. 8. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2007.

BAHIA. Secretaria de Infraestrutura Hídrica e Saneamento. Embasa 45 anos fazendo história no saneamento da Bahia. Salvador: SIHS, 2016. Disponível em: <www.embasa.ba.gov.br/images/documents/2083/livro_45anos_embasa_7out2016_arte_web_2abr2019_bx.pdf> Acesso em 21 fev. 2020.

BAHIA. Instituto de Gestão das Águas e Clima. Instrução Normativa nº 01, de 27 de fevereiro de 2007. Dispõe sobre a emissão de outorga de direito de uso dos recursos hídricos de domínio do Estado da Bahia, assim como a sua renovação, ampliação, alteração, transferência, revisão, suspensão e extinção. Salvador: INGÁ, 2007.

BALTAR, A. M. Sistema de apoio à decisão para avaliação econômica da alocação de recursos hídricos: aplicação à Bacia da barragem do rio Descoberto. 2001. 117f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília. Brasília, 2001.

BASSOI, L. H., *et al.* Uso da água em agricultura irrigada no Semiárido Brasileiro. In: Iêdo Bezerra Sá; Pedro Carlos Gama da Silva. (Org.). Semiárido Brasileiro: Pesquisa, Desenvolvimento. Inovação. 1ed. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. cap.10, p. 353-372.

BAUER, C. J. Results of Chilean water markets: empirical research since 1990. Water Resources Research, v. 40, 2004. doi:10.1029/2003WR002838.

BHATIA, R.; CESTTI, R.; WINPENNY, J. Water conservation and reallocation: best practice cases in improving economic efficiency and environmental quality. Washington-DC: International Bank for Reconstruction and Development-The World Bank, 1995.

BRASIL. Projeto de Lei nº 495, de 2017 (Em tramitação). Altera a Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, para introduzir os mercados de água como instrumento destinado a promover alocação mais eficiente dos recursos hídricos. Brasília, 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Plano Nacional de Recursos Hídricos. Panorama e estado dos recursos hídricos do Brasil, v. 1. Brasília: MMA, 2006.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal. e altera o art. 1º da Lei nº 8.001 de 13 de março de 1990 que modificou a Lei nº 7.990. de 28 de dezembro de 1989. Brasília, 1997.

BRASIL. Projeto de Lei nº 6.979, de 2002 (Arquivado). Regulamenta a cobrança pelo uso dos recursos hídricos no Brasil, instituída pela Lei Federal no 9.433, de 8 de Janeiro de 1997 e fixada para o uso da geração hidroelétrica pela Lei Federal no 9.984, de 17.07.2000. Brasília, 2002.

BRIGAGÃO, E. N. Integração de análise econômica e financeira a sistemas de apoio a decisão de enquadramento, outorga e cobrança de recursos hídricos: Aplicação à bacia da barragem do rio Descoberto no Distrito Federal. 2006. 119f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

BROOKS. R. HARRIS, E. Efficiency gains from water markets: Empirical analysis of Watermove in Australia. *Agricultural Water Management*, v. 95, p. 391-399, 2008.

CAVALCANTE, I. N. Fundamentos hidrogeológicos para a Gestão integrada de Recursos Hídricos na região metropolitana de Fortaleza, estado do Ceará. 1998. 164f. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

CAVALCANTI, B. S.; MARQUES, G. R. G. Recursos hídricos e gestão de conflitos. *Revista de Gestão dos Países de Língua Portuguesa*, Lisboa, v. 15, n. 1, pp. 04-16, 2016.

CARRAMASCHI, E.C. Análise do Comportamento da Demanda por Água para Irrigação na Região do Córrego da Rocinha no Distrito Federal. 2000. 98f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2000.

CARRAMASCHI, E. C.; CORDEIRO NETTO, O. M.; NOGUEIRA, J. M. O preço da água para irrigação: um estudo comparativo de dois métodos de valoração econômica – contingente e dose-resposta. *Cadernos de Ciência e Tecnologia*, Brasília, v. 17, n. 3, p.59-81, Brasília, 2000.

CARRERA-FERNANDEZ, J.; GARRIDO, R.. *Economia dos Recursos Hídricos*. Salvador: Edefba, 2002. 458p.

CASTRO, C. N. Sobre a Agricultura Irrigada no Semiárido: Uma análise histórica e atual de diferentes opções de política. Texto para discussão. Rio de Janeiro: IPEA, 2018.

CBHVJ. Comitê de Bacias Hidrográficas dos rios Verde e Jacaré. Deliberação CBHVJ nº 001, de 04 de setembro de 2018. Estabelece os mecanismos e propõe os valores para a Cobrança pelo Uso dos Recursos Hídricos na Região de Planejamento e Gestão das Águas – RPGA dos rios Verde e Jacaré. Irecê/BA, 2018.

_____. Plano de Recursos Hídricos e Proposta de Enquadramento dos Corpos de Água das Bacias Hidrográficas dos rios Verde e Jacaré: Síntese Executiva do PRHVJ. Salvador: CBHVJ, 2017a.

_____. Plano de Recursos Hídricos e Proposta de Enquadramento dos Corpos de Água das Bacias Hidrográficas dos rios Verde e Jacaré: Intervenções. Salvador: CBHVJ, 2017b.

_____. Plano de Recursos Hídricos e Proposta de Enquadramento dos Corpos de Água das Bacias Hidrográficas dos rios Verde e Jacaré: O Enquadramento de Corpos de Água nas BHVJ. Salvador: CBHVJ, 2017c.

CHILE. Ley n. 20.017, de 27 de abril de 2005. Modifica el Código de Aguas. Santiago, 2005.

COELHO, E. F.; COELHO FILHO, M. A.; OLIVEIRA, S. L. de. Agricultura irrigada: eficiência de irrigação e de uso da água. Bahia Agrícola, v. 7, n. 1, set/2005.

CODEVASF. Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba. Nota de esclarecimento 02.03.12. Brasília, 2012. Disponível em: <<https://www.codevasf.gov.br/noticias/notas-de-esclarecimento/nota-de-esclarecimento-barragem-de-miroros-02-03-12-nova-versao.pdf>> Acesso em 20 fev. 2020.

_____. Projetos Públicos de Irrigação: Mirorós. 2019. Disponível em: <<https://www.codevasf.gov.br/linhas-de-negocio/irrigacao/projetos-publicos-de-irrigacao/elenco-de-projetos/em-producao/miroros>> Acesso em 20 jan. 2020.

_____. Obra da Codevasf levará segurança hídrica à bacia do rio Verde no semiárido baiano. 2019. Disponível em: <<https://www.codevasf.gov.br/noticias/2019/obra-da-codevasf-trara-seguranca-hidrica-a-bacia-do-rio-verde-no-semiarido-baiano>>. Acesso em 10 out. 2020.

_____. Obra da Codevasf levará segurança hídrica à bacia do rio Verde no semiárido baiano. 2019. Disponível em: <<https://www.codevasf.gov.br/noticias/2019/obra-da-codevasf-trara-seguranca-hidrica-a-bacia-do-rio-verde-no-semiarido-baiano>>. Acesso em 28 out. 2020.

COELBA. Companhia de Energia Elétrica da Bahia. Tabela de Tarifas de Energia Elétrica. 2020. Disponível em: <<https://servicos.coelba.com.br/residencial-rural/Pages/Baixa%20Tens%C3%A3o/tarifas-grupo-b.aspx>> Acesso em 14 out. 2020.

CORDEIRO, J. A. D. Abundância e escassez da água: a cobrança pelo uso - Um modelo de formação de preços aplicável à bacia hidrográfica GL-1, Pernambuco. 2003. 154f. Dissertação (Mestrado em Economia) - Departamento de Economia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003.

CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Sistema de Informações de Águas Subterrânea-SIAGAS: Pesquisa Geral – Município de Irecê. 2020.

_____. Programa Informações para Gestão Territorial. Diagnóstico dos Recursos Hídricos da cidade de Tracuateua. Belém: CPRM, 1998.

CRUZ, J. C.; TUCCI, C. E. M. “Estimativa da Disponibilidade Hídrica Através da Curva de permanência”. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v.13, n.1, p. 111-124, 2008.

CUNHA, T.B.; SANTOS, J. Y. G dos; VIANNA, P.C.D. Conflitos pelo Uso da Água envolvendo a barragem Manoel Novais (Mirorós). Geonordeste, Aracaju, ano 21, n.2, 2010.

DALHUISEN, J. M. *et al.* Price and Income Elasticities of Residential Water Demand: A Meta-Analysis. Land Economics, v. 79, n. 2, p. 292-308, 2003.

DAVIDSEN, C., et al. Hydroeconomic optimization of reservoir management under downstream water quality constraints. Journal of Hydrology, v. 529, p. 1679-1689, 2015. doi: 10.1016/j.jhydrol.2015.08.018

DINAR, A.; ROSENGRANT, M., MEINZEN-DICK, R . Water Allocation Mechanisms: Principles and Examples. World Bank Policy Research Working Paper, Washington-DC, 1997. Disponível em <<http://www.bvsde.paho.org/bvsarg/i/fulltext/allocation/allocation.pdf>> Acesso em 20 mai. 2019.

DINIZ, J. A. O. *et' al.* Caracterização hidrogeológica do Aquífero Salitre no perímetro irrigado de Mirorós, Gentio do Ouro, Bahia. Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVIII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços, 17, Bonito-MS, 2012. Anais eletrônicos...Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/27701>> Acesso em 14 out. 2020.

DONOSO, G. Analisis del funcionamiento del mercado de los derechos de aprovechamiento de agua e identificacion de sus problemas. Revista de Derecho Administrativo Economico, v. 1., n. 2., p. 295-314, 1999. doi: 10.7764/redae.2.8.

DOURADO. C da S. Redução de gastos no Escritório do DIPIM. Whatsapp. 07 fev. 2020. 17h24min. 1 áudio de whatsapp.

EMBASA. Empresa Baiana de Água e Saneamento. Microrregião de Irecê já é abastecida pelo rio São Francisco. 2018. Disponível em: <www.embasa.ba.gov.br/index.php/conteudo-multimedia/noticias/1501-microrregiao-de-irece-ja-e-abastecida-pelo-rio-sao-francisco%20Embasa%202018>. Acesso em 20 fev. 2020.

ESPEY, M.; ESPEY, J.; SHAW, W. D. Price elasticity of residential demand for water: A meta-analysis. Water resources research, v. 33, n. 6, p. 1369-1374, 1997. doi: 10.1029/97WR00571.

FADEL. A.; MARQUES, G. Sistema de alocação de água baseado no custo da escassez: uma realidade necessária de ser incorporada por usuários urbanos. Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 22, Florianópolis, 2017. Anais eletrônicos...Disponível em: <<http://anais.abrh.org.br/works/2496>>. Acesso em 20 out. 2020.

FERNANDEZ, M. F.; SOARES, S. R. A.; NUNES, C. M. Estimativas de preços de implantação, operação e manutenção de unidades e de sistemas de adução, de bombeamento e de tratamento de água. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica*, v. 1, n. 3, 2007.

FIGUEIREDO, L. E. N.; MORAES, M. M. G. A. de. A demanda da água para irrigação nos perímetros públicos do submédio do rio São Francisco. *Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 11, Brasília, 2015.

FIGUEIREDO, L. E. N. Demanda da água para irrigação: uma aplicação da programação matemática positiva para os perímetros irrigados do submédio do rio São Francisco. 2015. 194 f. Dissertação (Mestrado em Economia) – Departamento de Economia, Universidade Federal do Pernambuco, Recife, 2015.

FOSTER, H.S.; BEATTIE, B.R. Urban residential demand for water in the U.S. *Land Economics*, v. 55, n.1, p. 43-58, 1979.

GARRIDO, R. J. S. Contribuições à cobrança pelo uso da água no Brasil: Abordagem econômica e avaliação de preços ótimos vis-à-vis preços praticados na bacia do rio Paraíba do Sul. 2018. 263f. Tese (Doutorado em Economia) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

GEORGE, B. *et al.* An integrated hydro-economic modelling framework to evaluate water allocation strategies I: Model development. *Agricultural Water Management*, v.98, p. 733-746, 2011.

GRIFFIN, R. C. *Water Resource Economics: The Analysis of Scarcity, Policies and Projects.* Massachusetts Institute of Technology. Cambridge/MA, 2006.

HACKETT, S.C. *Environmental and Natural Resources Economics: Theory, Policy, and the Sustainable Society.* 3. ed. New York: M.E. Sharpe, Inc., 1960.

HANAK, E. Stopping the drain: third-party responses to California's Water Market. *Contemporary Economic Policy*, v. 23, n. 1, p. 59-77, 2005.

HAROU, J. J. *et al.* Hydro-economic models: Concepts, design, applications, and future prospects. *Journal of Hydrology*, v. 375, p. 627-643, 2009.

HASHIMOTO. T.. STEDINGER. J.. LOUCKS. D.P. Reliability. Resilience and Vulnerability Criteria for Water Resource System Performance Evaluation. *Water Resources Research*, v. 18, n. 1, p. 14-26, 1982.

HIERRO, S. P. GÓMEZ-LIMÓN, J.A. RIESGO, L. Water markets in Spain: performance and Challenges. *Water*, v. 7, p. 652-678, 2015.

HOWITT, R. E., WATSON, W. D., & ADAMS, R. M. A reevaluation of price elasticities for irrigation water. *Water Resources Research*, v. 16, n. 4, p. 623–628, 1980.

HUNT, E. K.; LAUTZENHEISER, M. História do pensamento econômico: uma perspectiva crítica [tradução de André Arruda Villela]. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005. 504p.

INEMA. Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. CBH Verde-Jacaré. Disponível em: <www.inema.ba.gov.br/gestao-2/comites-de-bacias/comites/cbh-verde-jacare/>. Acesso em 21 jan. 2020.

KAHIL, T., et al. A continental-scale hydroeconomic model for integrating water-energy-land nexus solutions. *Water Resources Research*, v.54, 2018. doi: 10.1029/2017WR022478.

KIMAITE, F. M. A hydro-economic model for water resources assessments with application to the Apalachicola-Chattahoochee-Flint River Basin. 2011. 206 f. Dissertação (Doutorado em Filosofia) – Escola de Engenharia Civil e Ambiental, Instituto de Tecnologia da Geórgia, Atlanta, 2011.

LABSID. Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões. LabSid AcquaNet (versão antiga). Disponível em: <<http://www.labsid.eng.br/software.aspx?id=16>>. Acesso em 12 jul. 2020.

LABSID. Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões. Manual do AcquaNet 2013. Disponível em: <<http://www.labsid.eng.br/software/ManualAcquaNet2013.pdf>>. Acesso em 12 jul. 2020.

LARSON, E. W.; GRAY, C. F. Gerenciamento de projetos: o processo gerencial. 6. ed. Porto Alegre: AMGH, 2016. 592 p.

LEMOS, E. L. Análise das reservas, potencialidades e disponibilidades das águas subterrâneas em Maracanaú-Ceará. *Revista Ifes Ciência*, Instituto Federal do Espírito Santo, v.4, n.2, 2018.

LIVELE, V. A. Avaliação de benefícios econômicos da água alocada para agricultura irrigada: Aplicação no sistema hídrico da parte moçambicana da bacia do rio Limpopo. 2015. 132 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento). Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

LIVELE, V. A. SILVEIRA, A. L. L. da. Impactos econômicos da capacidade e regra operacional do sistema hídrico da parte moçambicana da bacia do rio Limpopo para satisfação das atuais e futuras demandas de água na agricultura irrigada. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, v. 12, n.1, p. 63-76, 2015.

LOPES, A. V.; FREITAS, M. A. de S. A alocação de água como instrumento da Gestão de Recursos Hídricos: experiências brasileiras. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, v. 4, n. 1, p. 5-28, 2007.

LOPES, J. E. G.; SANTOS R. C. P. Capacidade de Reservatórios. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

LOUCKS, D. P. Quantifying trends in system sustainability. *Hydrological Sciences Journal*, v. 42, n.4, p. 513–530, 1997.

LUIZ, A. J. B. Meta-análise: Definição, aplicações e sinergia com dados espaciais. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*. Brasília, v.19, n. 3, p.407-428, 2002.

MACEWAN, D. *et.al.* Hydroeconomic modeling of sustainable groundwater management. *Water Resources Research*, v. 53, p. 2384–2403, 2017.

MACHADO, B. G. de F. Análise econômica aplicada à decisão sobre alocação de água entre os usos irrigação e produção de energia elétrica: o caso da bacia do Rio preto. 2009. 145f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

MACHADO, B. G. de F. CORDEIRO NETTO, O. de. M. C. Análise econômica aplicada à decisão sobre alocação de água entre os usos irrigação e produção de energia elétrica: o caso da Bacia do rio Preto. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 15, n. 4, p. 105-119, 2010.

MARQUES, G. F. *et al.* Economically Driven Simulation of Regional Water Systems: Friant-Kern, California. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 132, n. 6, p. 468-478, 2016. doi: 10.1061/(ASCE)0733-9496(2006)132:6(468).

MATTOS, Z. P. de B. Uma análise da demanda residencial por água usando diferentes métodos de estimação. *Pesq. Plan. Econ. Rio de Janeiro*, v. 28, n. 1. p. 207-224, 1998.

MCKINNEY, D.C *et al.* Modeling water resources management at the basin level: Review and future directions. *SWIM Paper*, v. 6. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute, 1999.

MEES; A. Curso Qualidade da água em reservatórios. Unidade 1: Reservatórios. Capacitação para a Gestão das Águas. ANA, 2012? Disponível em <https://capacitacao.ead.unesp.br/dspace/bitstream/ana/74/2/Unidade_1.pdf>. Acesso em 03 mar. 2020.

MESQUITA, L. F. G.; LINDOSO, D.; RODRIGUES FILHO, S. Crise hídrica no Distrito Federal: o caso da bacia do rio Preto. *Revista Brasileira de Climatologia, Presidente Prudente*, v. 23, p. 307-326, 2018.

MOORE, S. M. The development of water markets in China: progress, peril, and prospects. *Water Policy*, v. 17, p. 253–267, 2015.

MORAES, M. M. G. A. de. SAMPAIO, Y.; CIRILO, J. A. Integração dos componentes econômico e hidrológico na modelagem de alocação ótima de água para apoio a gestão de recursos hídricos: uma aplicação na Bacia do rio Pirapama. *Revista Economia, Brasília*, v. 7, n. 2, p. 331-364, 2006.

MORAES, M. M. G. A. de. *et al.* SSD espacial para la gestión óptima de sistemas de recursos hídricos incorporando modelos hidroeconómicos. *Metodologías y experiencias prácticas*, 2014. doi: 10.13140/2.1.4169.1529

MOREIRA, R. de M. Alocação de Recursos Hídricos em Regiões Semi-Áridas. 2001. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – COPPE, Universidade Federal do rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

MORRIS, M. LYNNE, V. Measuring and conserving irrigation water. ATTRA-National Sustainable Agriculture Information Service. National Center for Appropriate Technology: 2006. Disponível em: <<https://attra.ncat.org/attra-pub/download.php?id=332>>. Acesso em 08 jul. 2020.

OCDE. Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico. Governança dos Recursos Hídricos no Brasil. Paris:OECD Publishing, 2015. doi: 10.1787/9789264238169-pt.

OLIVEIRA, I. B. de; NEGRÃO, F. I.; SILVA, A. G. L. S. Mapeamento dos aquíferos do estado da Bahia utilizando o Índice de Qualidade Natural das Águas Subterrâneas – IQNAS. Águas Subterrâneas, v.21, n.1, p.123-137, 2007

PARKIN, M. Microeconomics. 11. New Jersey: Ed. Pearson, 2014. 488 p.

PEDROSA, V. de A. Solução de conflitos pelo uso da água. Serra, ES: 2017. 109 p. Disponível em: <<https://cdn.agenciapeixevivo.org.br/media/2019/06/Texto-Guia-Conflito-pelo-uso-da-aCC81gua.pdf>> Acesso em 20 jan. 2020.

PEREIRA, G. R.; CUELLAR, M. D. Z. Conflitos pela água nos tempos de seca no Baixo Jaguaribe, no Estado do Ceará. Estudos Avançados, v. 29, n.84, 2015.

PINDYCK, R.; RUBINFELD, D. Microeconomia. 8. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2013. 742 p.

PINHEIRO, M. I. T.; CAMPOS, J. N. B.; STUDART, T. M. de C. Conflitos por águas alocação negociada: o caso do vale dos Carás no Ceará. Rev. Adm. Pública, v. 45, n. 6, p. 1655-1672, 2011.

PORTO, R. L. L. *et al.* Sistema de suporte a decisão para análise de sistemas de recursos hídricos. In: Rui Carlos Vieira da Silva. (Org.). Métodos Numéricos em Recursos Hídricos v. 6. Porto Alegre: ABRH, 2003. cap. 2, p. 93-240.

PREZIOSI. E.; BOM. A.D.; ROMANO. E.; PETRANGELI. A.B.; CASADEI. S.. Vulnerability to Drought of a Complex Water Supply System. The Upper Tiber Basin Case Study (Central Italy). Water Resources Management, v. 27. n. 13. p. 4655-4678, 2013

REBOUÇAS, A. da C. Desenvolvimento das águas subterrâneas no Brasil. Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 10, 1998. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22322>>. Acesso em 10 out. 2020.

ROCHA, O. P. Reunião [jul. 2020]. Alocação de Água do reservatório Mirorós – 2020/2021. ANA, 2020. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=pZmlWTKFK-s&t=2548s>>. Acesso em 30 de outubro de 2020.

SALES, C. de J. Repartindo as águas do Nordeste Semiárido: uma análise comparativa dos modelos de alocação de água adotados no Ceará, Paraíba e Rio Grande do Norte. 2013. 138 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão dos Recursos Hídricos. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2013.

SCHEIERLING, S. M.; LOOMIS, J. B.; YOUNG, R. A. Irrigation water demand: A meta-analysis of price elasticities. *Water Resources Research*, v. 42, 2006. doi: 10.1029/2005WR004009.

SCHOENGOLD, K.; SUNDING, D. L. MORENO, G. Price elasticity reconsidered: Panel estimation of an agricultural water demand function. *Water Resources Research*, v. 42, 2006. doi:10.1029/2005WR004096.

SILVA, G. N. S.; MORAES, M. M. G. A. de; da. Economic water management decisions: trade-offs between conflicting objectives in the sub-middle region of the São Francisco watershed. *Regional Environmental Change*. v. 18, p. 1957–1967, 2018.

SILVA, A. M. O. da.; SOUZA FILHO, F. de A. AQUINO, S. H. S. Avaliação do risco da alocação de água em período de escassez hídrica: o caso do Sistema Jaguaribe-Metropolitano. *Eng. Sanit. Ambient.*, Rio de Janeiro, v. 22, n. 4, p. 749-650, 2017.

SILVA, G. N. S. Apoio à gestão sustentável de recursos hídricos através de um modelo hidroeconômico desenvolvido em diferentes cenários de uso do solo e clima: o caso do Submédio do São Francisco. 2017. 203 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia e Geociência, Universidade Federal do Pernambuco, Recife, 2017.

SILVA, G. N. S. da S.; FIGUEIREDO, L. E. N. MORAES, M. M. G. A. de. Curvas de demanda pelos recursos hídricos dos principais usos consuntivos no submédio da Bacia do rio São Francisco. *RBCIAMB*, n. 36, p. 45-5, 2015.

SILVA, G. O. M. da. Integração das outorgas de captação superficial e lançamento de efluentes: um estudo de caso na bacia hidrográfica do rio Paraguaçu (Bahia). 2016. 146 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente, Águas e Saneamento) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2016.

SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Diagnóstico dos Serviços de Serviços de Água e Esgotos. Série histórica. 2018

SOARES JÚNIOR, P. R. Mercado de água para irrigação na bacia do rio Preto no Distrito Federal. 2002. 132 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília, Brasília, 2002.

SOUZA FILHO, F. de A. PORTO, R. L. L. Alocação Administrativa de Água: Modelagem Matemática do Comportamento do Usuário Caroneiro e da Agência Auto-Interessada em Jogos Estratégicos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.13, n. 2, p. 189-203, 2008.

SOUZA, W. G. de. Reunião [jul. 2020] Alocação de Água em Sistemas Hídricos Locais: Metodologia e Aplicação. ANA, 2020. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=Illjwd514UA&t=3170s>>. Acesso em 28 outubro de 2020.

SPEED, R.. *et al.* Basin Water Allocation Planning: Principles, Procedures and Approaches for Basin Allocation Planing. Paris: UNESCO, 2013.

SPOLIDORIO, P. C. M. A Alocação Negociada de Água como Estratégia de Regulação Responsiva. *Revista de Direito Setorial e Regulatório*, Brasília, v. 3, n. 1, p. 183-198, 2017.

TESTEZLAF, R.; MATSURA, E. E.; CARDOSO, J. L. Importância da irrigação no desenvolvimento do agronegócio. Campinas: Agrológica-FEAGRI/UNICAMP, 2002.

THOMAS, P. C. Proposta de uma metodologia de Cobrança pelo Uso da Água vinculada à Escassez. 2002. 139 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil). COPPE/UFRJ, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

TORRES, M.O.; RODRIGUES, M.L; PAZ, J.M. Hydro-Economic Model For The Assessment of Water Resources Allocation and Availability Impacts ob Agricultural Income. INOVAGRI International Meeting, 2, Fortaleza, 2014.

TROPICAL POÇOS. Custos com operação de poços na região de Irecê/BA. Whatsapp. 19 out. 2020. 15h50min. 1 mensagem de whatsapp.

VALENZUELA, C.;FUSTER, R.; LEÓN, A. Chile: ¿Es eficaz la patente por no uso de derechos de aguas?. *Revista CEPAL*, n. 109, p. 175-198, 2013.

VARIAN, H.R. *Microeconomia*. 9. ed. Rio de Janeiro: Elsevier Editora, 2015.

VIANA, L. F. G. Proposta de modelo de cobrança de água bruta no estado do Ceará: uma revisão do modelo atual. 2011. 85 f. Dissertação (Mestrado em Economia Rural). Departamento de Economia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

VICHETE, W. D.; MELLO JR, A. V. Modelo hidro-econômico de alocação de água nos reservatórios do Sistema Cantareira. Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 13, Foz do Iguaçu-PR, 2019. Anais eletrônicos...Disponível em: <<http://anais.abrh.org.br/works/5691>> Acesso em 18 fev. 2020.

WHEELER, S.; BJORNLUND, H.; SHANAHAN, M.; ZUO, A. Price of elasticity of water allocations demand in the Goulburn-Murray Irrigation District. *The Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, v. 52, p. 37-55, 2008.

WHELAN, J.; MSFER, K.. *Economic Supply & Demand*. Massachusetts Institute of Technology , 1996. Disponível em: <<https://ocw.mit.edu/courses/sloan-school-of-management/15-988-system-dynamics-self-study-fall-1998-spring-1999/readings/economics.pdf>>. Acesso em 10 fev. 2020.

WURBS, R. A. Water rights in Texas. *Journal Water Resources*, v. 121, p 447-454, 1995.

ZUO, A.; *et al.* Measuring Price Elasticities of Demand and Supply of Water Entitlements Based on Stated and Revealed Preference Data. *American Journal of Agricultural Economics*, v. 98, n. 1, p. 314–332, 2015.

APÊNDICE A – BALANÇO HÍDRICO DO RESERVATÓRIO MIRORÓS (maio/2013 a abril/2020)

| Mês | Vazão afluente | Entrada (hm³) | | Saída (hm³) | | | | | CAV | | | | Volume inicial | | Volume Final | | |
|--------|-----------------------------|-----------------------|--------------------------|------------------------|-----------------------------|-------------------------|----------------------|--------------------------|------------------|----------------|-------------------|-------------------|----------------|---------------|--------------|-----|---|
| | Vazão média afluente (m³/s) | Volume afluente (hm³) | Volume precipitado (hm³) | Volume evaporado (hm³) | Demanda Abastecimento (hm³) | Demanda Irrigação (hm³) | Usos a Jusante (hm³) | Vazão remanescente (hm³) | Cota inicial (m) | Cota final (m) | Área alagada (m²) | Área alagada (ha) | m³ | hm³ | m³ | hm³ | % |
| mai/13 | 0,64289 | 1,722 | 0,009 | 0,201 | 0,648 | 0,648 | 0,233 | 496,91 | 496,91 | 1.206.950,00 | 120,69 | 9.864.000,00 | 9,86 | 9.864.000,00 | 9,86 | 6% | |
| jun/13 | 0,67692 | 1,755 | 0,002 | 0,228 | 0,648 | 0,648 | 0,233 | 496,91 | 496,91 | 1.206.950,00 | 120,69 | 9.864.000,00 | 9,86 | 9.864.000,00 | 9,86 | 6% | |
| jul/13 | 0,63621 | 1,704 | 0,002 | 0,275 | 0,648 | 0,648 | 0,233 | 496,91 | 496,84 | 1.206.950,00 | 120,69 | 9.864.000,00 | 9,86 | 9.766.000,00 | 9,77 | 6% | |
| ago/13 | 0,65223 | 1,691 | 0,001 | 0,331 | 0,648 | 0,648 | 0,233 | 496,84 | 496,72 | 1.196.800,00 | 119,68 | 9.766.000,00 | 9,77 | 9.598.000,00 | 9,60 | 6% | |
| set/13 | 0,67992 | 1,762 | 0,014 | 0,345 | 0,648 | 0,648 | 0,233 | 496,72 | 496,65 | 1.179.400,00 | 117,94 | 9.598.000,00 | 9,60 | 9.500.000,00 | 9,50 | 6% | |
| out/13 | 0,63449 | 1,699 | 0,042 | 0,338 | 0,648 | 0,648 | 0,233 | 496,65 | 496,56 | 1.169.250,00 | 116,92 | 9.500.000,00 | 9,50 | 9.374.000,00 | 9,37 | 6% | |
| nov/13 | 0,70326 | 1,823 | 0,144 | 0,269 | 0,648 | 0,648 | 0,233 | 496,56 | 496,68 | 1.156.200,00 | 115,62 | 9.374.000,00 | 9,37 | 9.542.000,00 | 9,54 | 6% | |
| dez/13 | 4,47509 | 11,986 | 0,155 | 0,209 | 0,648 | 0,648 | 0,233 | 496,68 | 501,93 | 1.173.600,00 | 117,36 | 9.542.000,00 | 9,54 | 19.945.250,00 | 19,95 | 12% | |
| jan/14 | 0,91336 | 2,446 | 0,189 | 0,330 | 0,648 | 0,648 | 0,233 | 501,93 | 502,25 | 2.002.750,00 | 200,27 | 19.945.250,00 | 19,95 | 20.721.250,00 | 20,72 | 12% | |
| fev/14 | 0,41672 | 1,008 | 0,170 | 0,303 | 0,648 | 0,648 | 0,233 | 502,25 | 501,98 | 2.058.750,00 | 205,87 | 20.721.250,00 | 20,72 | 20.066.500,00 | 20,07 | 12% | |
| mar/14 | 0,47628 | 1,276 | 0,191 | 0,301 | 0,648 | 0,648 | 0,233 | 501,98 | 501,83 | 2.011.500,00 | 201,15 | 20.066.500,00 | 20,07 | 19.702.750,00 | 19,70 | 12% | |
| abr/14 | 0,53890 | 1,397 | 0,086 | 0,293 | 0,648 | 0,648 | 0,233 | 501,83 | 501,69 | 1.985.250,00 | 198,52 | 19.702.750,00 | 19,70 | 19.363.250,00 | 19,36 | 12% | |
| mai/14 | 0,43429 | 1,163 | 0,014 | 0,327 | 0,648 | 0,648 | 0,233 | 501,69 | 501,41 | 1.960.750,00 | 196,07 | 19.363.250,00 | 19,36 | 18.684.250,00 | 18,68 | 11% | |
| jun/14 | 0,39088 | 1,013 | 0,004 | 0,361 | 0,648 | 0,648 | 0,233 | 501,41 | 501,05 | 1.911.750,00 | 191,17 | 18.684.250,00 | 18,68 | 17.811.250,00 | 17,81 | 11% | |
| jul/14 | 0,39159 | 1,049 | 0,003 | 0,421 | 0,648 | 0,648 | 0,233 | 501,05 | 500,63 | 1.848.750,00 | 184,87 | 17.811.250,00 | 17,81 | 16.913.000,00 | 16,91 | 10% | |
| ago/14 | 0,47908 | 1,242 | 0,002 | 0,492 | 0,648 | 0,648 | 0,233 | 500,63 | 500,26 | 1.778.950,00 | 177,89 | 16.913.000,00 | 16,91 | 16.136.000,00 | 16,14 | 10% | |
| set/14 | 0,46818 | 1,214 | 0,020 | 0,503 | 0,648 | 0,648 | 0,233 | 500,26 | 499,88 | 1.717.900,00 | 171,79 | 16.136.000,00 | 16,14 | 15.338.000,00 | 15,34 | 9% | |
| out/14 | 0,35897 | 0,961 | 0,060 | 0,479 | 0,648 | 0,648 | 0,233 | 499,88 | 499,41 | 1.655.200,00 | 165,52 | 15.338.000,00 | 15,34 | 14.351.000,00 | 14,35 | 9% | |
| nov/14 | 1,23944 | 3,213 | 0,196 | 0,368 | 0,648 | 0,648 | 0,233 | 499,41 | 500,13 | 1.577.650,00 | 157,76 | 14.351.000,00 | 14,35 | 15.863.000,00 | 15,86 | 10% | |
| dez/14 | 2,09685 | 5,616 | 0,224 | 0,302 | 0,648 | 0,648 | 0,233 | 500,13 | 501,90 | 1.696.450,00 | 169,64 | 15.863.000,00 | 15,86 | 19.872.500,00 | 19,87 | 12% | |
| jan/15 | 0,29755 | 0,797 | 0,188 | 0,329 | 0,648 | 0,648 | 0,233 | 501,90 | 501,54 | 1.997.500,00 | 199,75 | 19.872.500,00 | 19,87 | 18.999.500,00 | 19,00 | 11% | |
| fev/15 | 0,70408 | 1,703 | 0,160 | 0,285 | 0,648 | 0,648 | 0,233 | 501,54 | 501,56 | 1.934.500,00 | 193,45 | 18.999.500,00 | 19,00 | 19.048.000,00 | 19,05 | 11% | |

| Mês | Vazão afluente | Entrada (hm³) | | Saída (hm³) | | | | | CAV | | | | Volume inicial | | Volume Final | | |
|--------|--------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|--|-------------------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------------|----------------------|----------------------|-------------------------|----------------|---------------|--------------|-----|---|
| | Vazão média afluente (m³/s) | Volume afluente (hm³) | Volume precipi- tado (hm³) | Volume evapo- rado (hm³) | Demanda Abasteci- mento (hm³) | Demanda Irrigação (hm³) | Usos a Jusante (hm³) | Vazão re- manescente (hm³) | Cota inicial (m) | Cota final (m) | Área alagada (m²) | Área alagada (ha) | m³ | hm³ | m³ | hm³ | % |
| mar/15 | 0,44762 | 1,199 | 0,184 | 0,290 | 0,648 | 0,648 | 0,233 | 501,56 | 501,38 | 1.938.000,00 | 193,80 | 19.048.000,00 | 19,05 | 18.611.500,00 | 18,61 | 11% | |
| abr/15 | 0,74155 | 1,922 | 0,082 | 0,281 | 0,648 | 0,648 | 0,233 | 501,38 | 501,46 | 1.906.500,00 | 190,65 | 18.611.500,00 | 18,61 | 18.805.500,00 | 18,81 | 11% | |
| mai/15 | 0,90270 | 2,418 | 0,014 | 0,321 | 0,648 | 0,648 | 0,233 | 501,46 | 501,70 | 1.920.500,00 | 192,05 | 18.805.500,00 | 18,81 | 19.387.500,00 | 19,39 | 12% | |
| jun/15 | 0,41324 | 1,071 | 0,004 | 0,370 | 0,648 | 0,648 | 0,233 | 501,70 | 501,36 | 1.962.500,00 | 196,25 | 19.387.500,00 | 19,39 | 18.563.000,00 | 18,56 | 11% | |
| jul/15 | 0,37423 | 1,002 | 0,003 | 0,433 | 0,648 | 0,648 | 0,233 | 501,36 | 500,96 | 1.903.000,00 | 190,30 | 18.563.000,00 | 18,56 | 17.606.000,00 | 17,61 | 11% | |
| ago/15 | 0,38994 | 1,011 | 0,002 | 0,507 | 0,591 | 0,648 | 0,233 | 500,96 | 500,50 | 1.833.400,00 | 183,34 | 17.606.000,00 | 17,61 | 16.640.000,00 | 16,64 | 10% | |
| set/15 | 0,34063 | 0,883 | 0,021 | 0,514 | 0,684 | 0,648 | 0,233 | 500,50 | 499,94 | 1.757.500,00 | 175,75 | 16.640.000,00 | 16,64 | 15.464.000,00 | 15,46 | 9% | |
| out/15 | 0,21985 | 0,589 | 0,060 | 0,482 | 0,630 | 0,648 | 0,233 | 499,94 | 499,30 | 1.665.100,00 | 166,51 | 15.464.000,00 | 15,46 | 14.120.000,00 | 14,12 | 8% | |
| nov/15 | 0,32627 | 0,846 | 0,194 | 0,363 | 0,635 | 0,648 | 0,233 | 499,30 | 498,88 | 1.559.500,00 | 155,95 | 14.120.000,00 | 14,12 | 13.280.000,00 | 13,28 | 8% | |
| dez/15 | 0,23850 | 0,639 | 0,197 | 0,265 | 0,617 | 0,648 | 0,233 | 498,88 | 498,35 | 1.492.600,00 | 149,26 | 13.280.000,00 | 13,28 | 12.352.500,00 | 12,35 | 7% | |
| jan/16 | 11,66800 | 31,252 | 0,134 | 0,233 | 0,495 | 0,648 | 0,233 | 498,35 | 509,28 | 1.415.750,00 | 141,57 | 12.352.500,00 | 12,35 | 42.128.000,00 | 42,13 | 25% | |
| fev/16 | 2,59993 | 6,290 | 0,271 | 0,484 | 0,575 | 0,648 | 0,233 | 509,28 | 510,48 | 3.283.200,00 | 328,32 | 42.128.000,00 | 42,13 | 46.748.000,00 | 46,75 | 28% | |
| mar/16 | 0,18830 | 0,504 | 0,333 | 0,525 | 0,586 | 0,648 | 0,233 | 510,48 | 510,18 | 3.511.200,00 | 351,12 | 46.748.000,00 | 46,75 | 45.593.000,00 | 45,59 | 27% | |
| abr/16 | -0,06040 | -0,157 | 0,149 | 0,509 | 0,604 | 0,648 | 0,233 | 510,18 | 509,66 | 3.454.200,00 | 345,42 | 45.593.000,00 | 45,59 | 43.591.000,00 | 43,59 | 26% | |
| mai/16 | 0,32797 | 0,878 | 0,024 | 0,560 | 0,531 | 1,047 | 0,420 | 509,66 | 509,23 | 3.355.400,00 | 335,54 | 43.591.000,00 | 43,59 | 41.935.500,00 | 41,94 | 25% | |
| jun/16 | 0,28137 | 0,729 | 0,006 | 0,617 | 0,586 | 0,923 | 0,420 | 509,23 | 508,73 | 3.273.700,00 | 327,37 | 41.935.500,00 | 41,94 | 40.125.250,00 | 40,13 | 24% | |
| jul/16 | 0,31045 | 0,832 | 0,005 | 0,732 | 0,591 | 0,977 | 0,420 | 508,73 | 508,18 | 3.217.850,00 | 321,78 | 40.125.250,00 | 40,13 | 38.241.500,00 | 38,24 | 23% | |
| ago/16 | 0,38014 | 0,985 | 0,004 | 0,882 | 0,583 | 1,159 | 0,420 | 508,18 | 507,58 | 3.193.100,00 | 319,31 | 38.241.500,00 | 38,24 | 36.186.500,00 | 36,19 | 22% | |
| set/16 | 0,39273 | 1,018 | 0,038 | 0,926 | 0,526 | 1,231 | 0,420 | 507,58 | 506,98 | 3.166.100,00 | 316,61 | 36.186.500,00 | 36,19 | 34.138.400,00 | 34,14 | 20% | |
| out/16 | 0,54246 | 1,453 | 0,113 | 0,907 | 0,601 | 1,301 | 0,420 | 506,98 | 506,44 | 3.133.900,00 | 313,39 | 34.138.400,00 | 34,14 | 32.475.200,00 | 32,48 | 19% | |
| nov/16 | 0,56446 | 1,463 | 0,369 | 0,692 | 0,599 | 0,923 | 0,420 | 506,44 | 506,18 | 2.969.200,00 | 296,92 | 32.475.200,00 | 32,48 | 31.674.400,00 | 31,67 | 19% | |
| dez/16 | 0,15709 | 0,421 | 0,382 | 0,514 | 0,612 | 0,951 | 0,420 | 506,18 | 505,63 | 2.889.900,00 | 288,99 | 31.674.400,00 | 31,67 | 29.980.400,00 | 29,98 | 18% | |
| jan/17 | 0,11045 | 0,296 | 0,257 | 0,448 | 0,658 | 1,021 | 0,420 | 505,63 | 504,98 | 2.722.150,00 | 272,21 | 29.980.400,00 | 29,98 | 27.985.000,00 | 27,98 | 17% | |
| fev/17 | 0,50414 | 1,220 | 0,208 | 0,372 | 0,619 | 0,951 | 0,420 | 504,98 | 504,64 | 2.526.600,00 | 252,66 | 27.985.000,00 | 27,98 | 27.050.000,00 | 27,05 | 16% | |
| mar/17 | 0,43977 | 1,178 | 0,234 | 0,369 | 0,614 | 0,943 | 0,420 | 504,64 | 504,30 | 2.468.800,00 | 246,88 | 27.050.000,00 | 27,05 | 26.115.000,00 | 26,11 | 16% | |

| Mês | Vazão afluente | Entrada (hm³) | | Saída (hm³) | | | | | CAV | | | | Volume inicial | | Volume Final | | |
|--------|--------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|--|-------------------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------------|----------------------|----------------------|-------------------------|----------------|-------|---------------|-------|-----|
| | Vazão média afluente (m³/s) | Volume afluente (hm³) | Volume precipi- tado (hm³) | Volume evapo- rado (hm³) | Demanda Abasteci- mento (hm³) | Demanda Irrigação (hm³) | Usos a Jusante (hm³) | Vazão re- manescente (hm³) | Cota inicial (m) | Cota final (m) | Área alagada (m²) | Área alagada (ha) | m³ | hm³ | m³ | hm³ | % |
| abr/17 | 0,47745 | 1,238 | 0,104 | 0,355 | 0,568 | 1,016 | 0,420 | | 504,30 | 503,93 | 2.411.000,00 | 241,10 | 26.115.000,00 | 26,11 | 25.097.500,00 | 25,10 | 15% |
| mai/17 | 0,19448 | 0,521 | 0,017 | 0,392 | 0,586 | 1,026 | 0,140 | 0,181 | 503,93 | 503,28 | 2.348.100,00 | 234,81 | 25.097.500,00 | 25,10 | 23.310.000,00 | 23,31 | 14% |
| jun/17 | 0,24505 | 0,635 | 0,004 | 0,422 | 0,586 | 0,832 | 0,140 | 0,181 | 503,28 | 502,69 | 2.237.600,00 | 223,76 | 23.310.000,00 | 23,31 | 21.788.250,00 | 21,79 | 13% |
| jul/17 | 0,29869 | 0,800 | 0,003 | 0,486 | 0,550 | 0,780 | 0,140 | 0,181 | 502,69 | 502,14 | 2.135.750,00 | 213,57 | 21.788.250,00 | 21,79 | 20.454.500,00 | 20,45 | 12% |
| ago/17 | 0,29316 | 0,760 | 0,002 | 0,564 | 0,581 | 0,752 | 0,140 | 0,181 | 502,14 | 501,54 | 2.039.500,00 | 203,95 | 20.454.500,00 | 20,45 | 18.999.500,00 | 19,00 | 11% |
| set/17 | 0,32489 | 0,842 | 0,023 | 0,566 | 0,544 | 0,827 | 0,140 | 0,181 | 501,54 | 500,96 | 1.934.500,00 | 193,45 | 18.999.500,00 | 19,00 | 17.606.000,00 | 17,61 | 11% |
| out/17 | 0,16936 | 0,454 | 0,066 | 0,531 | 0,627 | 0,511 | 0,140 | 0,181 | 500,96 | 500,26 | 1.833.400,00 | 183,34 | 17.606.000,00 | 17,61 | 16.136.000,00 | 16,14 | 10% |
| nov/17 | 0,38274 | 0,992 | 0,214 | 0,400 | 0,596 | 0,350 | 0,140 | 0,181 | 500,26 | 500,04 | 1.717.900,00 | 171,79 | 16.136.000,00 | 16,14 | 15.674.000,00 | 15,67 | 9% |
| dez/17 | 0,00668 | 0,018 | 0,222 | 0,299 | 0,601 | 0,194 | 0,140 | 0,181 | 500,04 | 499,48 | 1.681.600,00 | 168,16 | 15.674.000,00 | 15,67 | 14.498.000,00 | 14,50 | 9% |
| jan/18 | -0,00771 | -0,021 | 0,150 | 0,262 | 0,627 | 0,049 | 0,140 | 0,181 | 499,48 | 498,93 | 1.589.200,00 | 158,92 | 14.498.000,00 | 14,50 | 13.367.500,00 | 13,37 | 8% |
| fev/18 | 0,31931 | 0,772 | 0,124 | 0,221 | 0,498 | 0,171 | 0,140 | 0,181 | 498,93 | 498,75 | 1.499.850,00 | 149,98 | 13.367.500,00 | 13,37 | 13.052.500,00 | 13,05 | 8% |
| mar/18 | 1,01964 | 2,731 | 0,140 | 0,220 | 0,583 | 0,132 | 0,140 | 0,181 | 498,75 | 499,56 | 1.473.750,00 | 147,37 | 13.052.500,00 | 13,05 | 14.666.000,00 | 14,67 | 9% |
| abr/18 | 0,17976 | 0,466 | 0,069 | 0,236 | 0,609 | 0,614 | 0,140 | 0,181 | 499,56 | 498,96 | 1.602.400,00 | 160,24 | 14.666.000,00 | 14,67 | 13.420.000,00 | 13,42 | 8% |
| mai/18 | 0,14927 | 0,400 | 0,011 | 0,251 | 0,612 | 0,607 | 0,324 | | 498,96 | 498,17 | 1.504.200,00 | 150,42 | 13.420.000,00 | 13,42 | 12.037.500,00 | 12,04 | 7% |
| jun/18 | 0,21071 | 0,546 | 0,003 | 0,262 | 0,612 | 0,731 | 0,327 | | 498,17 | 497,38 | 1.389.650,00 | 138,96 | 12.037.500,00 | 12,04 | 10.655.000,00 | 10,65 | 6% |
| jul/18 | 0,20454 | 0,548 | 0,002 | 0,290 | 0,619 | 0,632 | 0,345 | | 497,38 | 496,52 | 1.275.100,00 | 127,51 | 10.655.000,00 | 10,65 | 9.318.000,00 | 9,32 | 6% |
| ago/18 | 0,34726 | 0,900 | 0,001 | 0,318 | 0,067 | 0,897 | 0,347 | | 496,52 | 496,00 | 1.150.400,00 | 115,04 | 9.318.000,00 | 9,32 | 8.590.000,00 | 8,59 | 5% |
| set/18 | 0,28756 | 0,745 | 0,013 | 0,315 | 0,026 | 0,814 | 0,332 | | 496,00 | 495,48 | 1.075.000,00 | 107,50 | 8.590.000,00 | 8,59 | 7.862.000,00 | 7,86 | 5% |
| out/18 | 0,31356 | 0,840 | 0,036 | 0,289 | 0,041 | 0,829 | 0,332 | | 495,48 | 495,04 | 999.600,00 | 99,96 | 7.862.000,00 | 7,86 | 7.246.000,00 | 7,25 | 4% |
| nov/18 | 0,44702 | 1,159 | 0,116 | 0,218 | 0,026 | 0,609 | 0,324 | | 495,04 | 495,11 | 935.800,00 | 93,58 | 7.246.000,00 | 7,25 | 7.344.000,00 | 7,34 | 4% |
| dez/18 | 1,25322 | 3,357 | 0,125 | 0,168 | 0,078 | 0,168 | 0,316 | | 495,11 | 497,06 | 945.950,00 | 94,60 | 7.344.000,00 | 7,34 | 10.095.000,00 | 10,09 | 6% |
| jan/19 | 0,25823 | 0,692 | 0,116 | 0,202 | 0,026 | 0,783 | 0,321 | | 497,06 | 496,70 | 1.228.700,00 | 122,87 | 10.095.000,00 | 10,09 | 9.570.000,00 | 9,57 | 6% |
| fev/19 | 0,43677 | 1,057 | 0,097 | 0,173 | 0,026 | 0,661 | 0,321 | | 496,70 | 496,68 | 1.176.500,00 | 117,65 | 9.570.000,00 | 9,57 | 9.542.000,00 | 9,54 | 6% |
| mar/19 | 0,34392 | 0,921 | 0,111 | 0,176 | 0,023 | 0,583 | 0,334 | | 496,68 | 496,62 | 1.173.600,00 | 117,36 | 9.542.000,00 | 9,54 | 9.458.000,00 | 9,46 | 6% |
| abr/19 | 0,35945 | 0,932 | 0,050 | 0,172 | 0,060 | 0,679 | 0,295 | | 496,62 | 496,46 | 1.164.900,00 | 116,49 | 9.458.000,00 | 9,46 | 9.234.000,00 | 9,23 | 6% |

| Mês | Vazão afluente | Entrada (hm³) | | Saída (hm³) | | | | | CAV | | | | Volume inicial | | Volume Final | | |
|--------|--------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|--|-------------------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------------|----------------------|----------------------|-------------------------|----------------|---------------|--------------|-----|---|
| | Vazão média afluente (m³/s) | Volume afluente (hm³) | Volume precipi- tado (hm³) | Volume evapo- rado (hm³) | Demanda Abasteci- mento (hm³) | Demanda Irrigação (hm³) | Usos a Jusante (hm³) | Vazão re- manescente (hm³) | Cota inicial (m) | Cota final (m) | Área alagada (m²) | Área alagada (ha) | m³ | hm³ | m³ | hm³ | % |
| mai/19 | 0,30731 | 0,823 | 0,008 | 0,191 | 0,021 | 0,733 | 0,335 | 496,46 | 496,14 | 1.141.700,00 | 114,17 | 9.234.000,00 | 9,23 | 8.786.000,00 | 8,79 | 5% | |
| jun/19 | 0,39074 | 1,013 | 0,002 | 0,207 | 0,021 | 0,520 | 0,197 | 496,14 | 496,19 | 1.095.300,00 | 109,53 | 8.786.000,00 | 8,79 | 8.856.000,00 | 8,86 | 5% | |
| jul/19 | 0,36646 | 0,982 | 0,002 | 0,251 | 0,019 | 0,379 | 0,195 | 496,19 | 496,29 | 1.102.550,00 | 110,25 | 8.856.000,00 | 8,86 | 8.996.000,00 | 9,00 | 5% | |
| ago/19 | 0,33427 | 0,866 | 0,001 | 0,309 | 0,019 | 0,303 | 0,195 | 496,29 | 496,32 | 1.117.050,00 | 111,70 | 8.996.000,00 | 9,00 | 9.038.000,00 | 9,04 | 5% | |
| set/19 | 0,31509 | 0,817 | 0,013 | 0,328 | 0,023 | 0,238 | 0,198 | 496,32 | 496,35 | 1.121.400,00 | 112,14 | 9.038.000,00 | 9,04 | 9.080.000,00 | 9,08 | 5% | |
| out/19 | 0,35355 | 0,947 | 0,041 | 0,326 | 0,019 | 0,293 | 0,195 | 496,35 | 496,46 | 1.125.750,00 | 112,57 | 9.080.000,00 | 9,08 | 9.234.000,00 | 9,23 | 6% | |
| nov/19 | 0,27721 | 0,719 | 0,142 | 0,266 | 0,072 | 0,647 | 0,197 | 496,46 | 496,23 | 1.141.700,00 | 114,17 | 9.234.000,00 | 9,23 | 8.912.000,00 | 8,91 | 5% | |
| dez/19 | 0,17661 | 0,473 | 0,146 | 0,197 | 0,023 | 0,416 | 0,193 | 496,23 | 496,08 | 1.108.350,00 | 110,83 | 8.912.000,00 | 8,91 | 8.702.000,00 | 8,70 | 5% | |
| jan/20 | 0,83214 | 2,229 | 0,102 | 0,179 | 0,020 | 0,216 | 0,190 | 496,08 | 497,25 | 1.086.600,00 | 108,66 | 8.702.000,00 | 8,70 | 10.427.500,00 | 10,43 | 6% | |
| fev/20 | 0,51251 | 1,240 | 0,104 | 0,185 | 0,022 | 0,317 | 0,207 | 497,25 | 497,60 | 1.256.250,00 | 125,62 | 10.427.500,00 | 10,43 | 11.040.000,00 | 11,04 | 7% | |
| mar/20 | 4,75386 | 12,733 | 0,124 | 0,195 | 0,037 | 0,209 | 0,200 | 497,60 | 503,26 | 1.307.000,00 | 130,70 | 11.040.000,00 | 11,04 | 23.255.000,00 | 23,25 | 14% | |
| abr/20 | 2,44654 | 6,341 | 0,096 | 0,329 | 0,017 | 0,535 | 0,217 | 503,26 | 505,18 | 2.234.200,00 | 223,42 | 23.255.000,00 | 23,25 | 28.594.400,00 | 28,59 | 17% | |

Fonte: Próprio autor (2020).

**APÊNDICE B - DADOS UTILIZADOS NAS ESTIMATIVAS DE CUSTOS DAS
ALTERNATIVAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA PARA OBTENÇÃO DA DEMANDA
“TUDO OU NADA” DO ABASTECIMENTO HUMANO**

| Alternativa 1 – Adutora de água bruta no leito principal do rio São Francisco | | | |
|--|-------------------------|--|---------------|
| Vida útil da adutora (anos) ¹ | 30 | Comprimento da adutora com bombeamento – Trecho 1 (m) ³ | 26.000 |
| Vida útil da estação de bombeamento (anos) ¹ | 15 | Perdas ao longo da tubulação – Trecho 1 (m) ² | 94 |
| Diâmetro nominal (m) ² | 0,6 | Desnível geométrico – Trecho 1 (m) ³ | 100 |
| Vazão (m ³ /s) | 0,46 | Altura manométrica – Trecho 1 (m) ² | 194 |
| Velocidade da água (m/s) ² | 1,62 | Potência – Trecho 1 (cv) ² | 1.490 |
| Viscosidade cinemática – água a 26 ^o (m ² /s) ² | 8,76 x 10 ⁻² | Comprimento da adutora com bombeamento – Trecho 2 (m) ³ | 42.000 |
| Número de Reynolds ² | 1,11 x 10 ⁶ | Perdas na tubulação – Trecho 2 (m) ² | 151 |
| Rugosidade - Ferro fundido ² | 0,00025 | Desnível geométrico – Trecho 2 (m) ³ | 320 |
| Rugosidade/Diâmetro (ε/D) ² | 0,0004 | Altura manométrica – Trecho 2 (m) ² | 471 |
| Fator de atrito - Diagrama de Moody ² | 0,016 | Potência – Trecho 2 (cv) ² | 3.610 |
| Comprimento total da adutora ³ | 110.0000 | Potência total das estações de bombeamento (cv) ² | 5.100 |
| Comprimento da Adutora com bombeamento ³ | 68.000 | Consumo de energia (kWh/ano) ⁴ | 32.859.153,32 |
| Alternativa 2 – Implantação de poços para captação de água subterrânea | | | |
| Vazão média - Poços na região do Mirorós (m ³ /h) ⁵ | 16,5 | Vazão média anual demandada (m ³ /s) | 0,3922 |
| Número de poços | 86 | Potência da unidade de bombeamento (cv) ⁸ | 2 |
| Vida útil dos poços (anos) ⁶ | 20 | Número de bombas | 86 |
| Vida útil da adutora (anos) ¹ | 20 | Consumo de energia por poço (kWh/ano/poço) ⁴ | 12.885,94 |
| Extensão da adutora por poço (m) ⁷ | 8.000 | Consumo de energia total (kWh/ano) ⁴ | 1.102.662 |

Fonte: Próprio autor (2020)

Notas:

¹ Valores adotados de acordo com a vida útil do poço.

² Valores obtidos/estimados a partir do manual de Hidráulica de Azevedo Netto (1998).

³ Valores estimados a partir do Google Earth

⁴ Valor estimado a partir da potência da bomba, considerando operação 24h/dia

⁵ Vazão adotada de acordo com Passos Filho *et al* (2018)

⁶ Valor adotado de acordo com Cavalcante (1998) e Lemos (2018)

⁷ Adotou-se uma extensão da adutora de 8 km para cada poço, considerando a quantidade de poços que devem ser instalados e a área do município de Irecê.

⁸ Potência da unidade de bombeamento adotada de acordo com a licitação da CODEVASF (2013)

**APÊNDICE C - DADOS UTILIZADOS NAS ESTIMATIVAS DE CUSTOS DAS
ALTERNATIVAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA PARA OBTENÇÃO DA DEMANDA
“TUDO OU NADA” DA IRRIGAÇÃO**

| Alternativa 1 – Adutora de água bruta no leito principal do rio São Francisco | | | |
|--|-------------------------|--|---------------|
| Vida útil da adutora (anos) ¹ | 30 | Fator de atrito - Diagrama de Moody ² | 0,015 |
| Vida útil da estação de bombeamento (anos) ¹ | 15 | Comprimento total da adutora ³ | 94.000 |
| Diâmetro nominal (m) ¹ | 0,8 | Comprimento da Adutora com Bombeamento ³ | 94.000 |
| Vazão (m ³ /s) | 0,983 | Perdas na tubulação (m) ² | 343 |
| Velocidade da água (m/s) ² | 1,95 | Desnível geométrico (m) ³ | 120 |
| Viscosidade cinemática – água a 26° (m ² /s) ² | 8,76 x 10 ⁻⁷ | Altura manométrica (m) ² | 463 |
| Número de Reynolds ² | 1,11 x 10 ⁶ | Potência total das estações de bombeamento (cv) ⁴ | 7.600 |
| Rugosidade - Ferro fundido ² | 0,00025 | Consumo de energia (kWh/ano) ⁴ | 48.931.733,32 |
| Rugosidade/Diâmetro (ε/D) ² | 0,0003 | Número de estações | 4 |
| Alternativa 2 – Implantação de poços para captação de água subterrânea | | | |
| Vazão média - Poços na região do Mirorós (m ³ /h) ⁵ | 80 | Vazão média anual demandada (m ³ /s) | 1,412 |
| Número de poços | 64 | Potência da unidade de bombeamento (cv) ⁸ | 2 |
| Vida útil dos poços (anos) ⁶ | 20 | Número de bombas | 64 |
| Vida útil da adutora (anos) ¹ | 20 | Consumo de energia por poço (kWh/ano/poço) ⁴ | 12.885,94 |
| Extensão da adutora por poço (m) ⁷ | 2.000 | Consumo de energia total (kWh/ano) ⁴ | 818.772,79 |

Fonte: Próprio autor (2020).

Notas:

¹ Valores adotados de acordo com Fernandez *et al* (2007).

² Valores obtidos/estimados a partir do manual de Hidráulica de Azevedo Netto (1998).

³ Valores estimados a partir do Google Earth

⁴ Valor estimado a partir da potência da bomba, considerando operação 24h/dia

⁵ Vazão adotada de acordo com Diniz *et al* (2012)

⁶ Valor adotado de acordo com Cavalcante (1998) e Lemos (2018)

⁷ Adotou-se uma distância de 2 km entre o poço e a área a ser irrigada.

⁸ Potência da unidade de bombeamento adotada de acordo com a licitação da CODEVASF (2013)

**APÊNDICE D - CUSTOS DA ALTERNATIVA 1 PARA O ABASTECIMENTO
HUMANO (ADUTORA DE ÁGUA BRUTA)**

| Item | Descrição | Unidade | Quantidade | Preço Unitário | Preço do Item |
|---|--|--------------|------------|------------------|--------------------------|
| 1 | Adutora de Água Bruta - Material Ferro Fundido - DN 600mm | | | | |
| Locação e Nivelamento | | | | | |
| 1.1 | Locação e nivelamento | R\$/km | 110 | R\$ 1.088,26 | R\$ 119.708,60 |
| Custo anual - 2018 (R\$/ano) | | | | | R\$ 3.990,29 |
| Custo anual - 2020 (R\$/ano) | | | | | R\$ 4.183,40 |
| Implantação da adutora | | | | | |
| 1.1 | Obra (Construção e Montagem) | R\$/m | 110.000 | R\$ 1.050,00 | R\$ 115.500.000,00 |
| 1.2 | Gerenciamento e Fiscalização | R\$/m | 110.000 | R\$ 700,00 | R\$ 77.000.000,00 |
| 1.3 | Fornecimento de Tubulação e Acessórios | R\$/m | 110.000 | R\$ 650,00 | R\$ 71.500.000,00 |
| 1.4 | Projeto | R\$/m | 110.000 | R\$ 80,00 | R\$ 8.800.000,00 |
| Custo total (R\$) | | | | | R\$ 272.800.000,00 |
| Custo anual - 2007 (R\$/ano) | | | | | R\$ 9.093.333,33 |
| Custo anual - 2020 (R\$/ano) | | | | | R\$ 19.551.667,55 |
| Operação e manutenção da adutora | | | | | |
| 1.5 | Operação anual a partir do 10º ano | R\$/ano/10km | 110 | R\$ 190.000,00 | R\$ 2.090.000,00 |
| 1.6 | Valor anual de manutenção | R\$/ano/10km | 110 | R\$ 205.000,00 | R\$ 2.255.000,00 |
| Custo anual (R\$/ano) | | | | | R\$ 3.648.333,33 |
| Custo anual - 2020 (R\$/ano) | | | | | R\$ 7.844.318,23 |
| Custo anual com adutora - Atualizado para março de 2020 (R\$/ano) | | | | | R\$ 27.400.169,19 |
| 2 | Estação de Bombeamento -2 estações com 1500 cv e 3600 cv | | | | |
| Implantação da Estação de Bombeamento | | | | | |
| 2.1 | Custo de implantação da Estação de Bombeamento 1 - 1.500 cv | R\$/unid | 1 | R\$ 2.600.000,00 | R\$ 2.600.000,00 |
| 2.2 | Custo de implantação da Estação de Bombeamento 2 - 3.600 cv | R\$/unid | 1 | R\$ 4.500.000,00 | R\$ 4.500.000,00 |
| Custo total (R\$) | | | | | R\$ 7.100.000,00 |
| Custo anual - 2017 (R\$/ano) | | | | | R\$ 473.333,33 |
| Custo atualizado - Mar/2020 (R\$/ano) | | | | | R\$ 1.017.718,77 |
| Operação e manutenção | | | | | |
| 2.2 | Operação anual a partir do 10º ano (mão de obra e despesas diretas) - Est. 1 | R\$/ano | 1 | R\$ 300.000,00 | R\$ 300.000,00 |
| 2.3 | Valor anual de manutenção – Est. 1 | R\$/ano | 1 | R\$ 188.000,00 | R\$ 188.000,00 |
| 2.4 | Operação anual a partir do 10º ano (mão de obra e despesas diretas) - Est. 2 | R\$/ano | 1 | R\$ 400.000,00 | R\$ 400.000,00 |
| 2.5 | Valor anual de manutenção – Est. 2 | R\$/ano | 1 | R\$ 260.000,00 | R\$ 260.000,00 |
| Custo anual- 2017 (R\$/ano) | | | | | R\$ 388.000,00 |

| Item | Descrição | Unidade | Quantidade | Preço Unitário | Preço do Item |
|--|----------------------------------|---------|---------------|----------------|--------------------------|
| Custo atualizado - Mar/2020 (R\$/ano) | | | | | R\$ 834.242,71 |
| Energia elétrica | | | | | |
| 2.6 | Custo anual com energia elétrica | R\$/kWh | 32.859.153,32 | 0,46304 | R\$ 15.215.102,36 |
| Custo anual - 2020 (R\$/ano) | | | | | R\$ 15.215.102,36 |
| Custo anual - Implantação, O&M e energia elétrica (R\$/ano) | | | | | R\$ 17.067.063,83 |
| Custo do Sistema por volume de água | | | | | |
| Custo anual (R\$/ano) | | | | | R\$ 44.467.233,01 |
| Vazão anual média (m³/s) | | | | | 0,46 |
| Volume anual (m³/ano) | | | | | 14.506.560,00 |
| Custo unitário (R\$/m³) | | | | | R\$ 3,07 |

Fonte: Próprio autor (2020).

**APÊNDICE E - CUSTOS DA ALTERNATIVA 2 PARA O ABASTECIMENTO
HUMANO (IMPLANTAÇÃO DE POÇOS)**

| Item | Descrição | Unidade | Quantidade | Preço Unitário | Preço do Item |
|---|---|----------|--------------|----------------|-------------------------|
| 1 | Implantação de Poço tubular - Calcáreo | | | | |
| Implantação do Poço | | | | | |
| 1.1 | Custo de Poço Tubular (CODEVASF, 2013) | R\$/poço | 86 | R\$ 72.623,10 | R\$ 6.214.424,69 |
| | Custo de Poço tubular - Mar 2020 (R\$) | R\$/poço | 86 | R\$ 102.786,82 | R\$ 8.795.561,22 |
| Custo Anual - Mar/2020 (R\$/ano) | | | | | R\$ 439.778,06 |
| Operação e Manutenção - 86 poços - Potência da bomba 2cv | | | | | |
| 1.2 | Operação anual (Tropical Poços, 2020) | R\$/ano | 86 | R\$ 3.600,00 | R\$ 308.055,27 |
| Custo anual (R\$/ano) | | | | | R\$ 308.055,27 |
| Energia elétrica | | | | | |
| 1.3 | Custo anual com energia elétrica | R\$/kWh | 1.102.661,81 | 0,46304 | R\$ 510.576,53 |
| Custo anual (R\$/ano) | | | | | R\$ 510.576,53 |
| Custo anual com a implantação, O&M de poços tubulares e consumo de energia elétrica (R\$/ano) | | | | | R\$ 1.258.409,86 |

| | | | | | |
|---|---|--------------|---------|---------------|--------------------------|
| 1 | Adutora de Água Bruta - Material PVC- DN 100mm | | | | |
| Implantação da adutora | | | | | |
| 1.1 | Obra (Construção e Montagem) | R\$/m | 684.567 | R\$ 170,00 | R\$ 116.376.436,36 |
| 1.2 | Gerenciamento e Fiscalização | R\$/m | 684.567 | R\$ 140,00 | R\$ 95.839.418,18 |
| 1.3 | Fornecimento de Tubulação e Acessórios | R\$/m | 684.567 | R\$ 130,00 | R\$ 88.993.745,45 |
| 1.4 | Projeto | R\$/m | 684.567 | R\$ 10,00 | R\$ 6.845.672,73 |
| Custo total (R\$) | | | | | R\$ 308.055.272,73 |
| Custo anual (R\$/ano) | | | | | R\$ 15.402.763,64 |
| Operação e manutenção da adutora | | | | | |
| 1.5 | Operação anual a partir do 10º ano | R\$/ano/10km | 685 | R\$ 70.000,00 | R\$ 4.791.970,91 |
| 1.6 | Valor anual de manutenção | R\$/ano/10km | 685 | R\$ 70.000,00 | R\$ 4.791.970,91 |
| Custo anual (R\$/ano) | | | | | R\$ 7.187.956,36 |
| Custo anual com adutora - 2007 (R\$/ano) | | | | | R\$ 22.590.720,00 |
| Custo anual com adutora - Atualizado para março de 2020 (R\$/ano) | | | | | R\$ 49.513.172,87 |

| | |
|-------------------------------------|-------------------|
| Custo do Sistema por volume de água | |
| Custo anual (R\$/ano) | R\$ 50.771.582,73 |
| Vazão anual média (m³/s) | 0,3922 |
| Volume anual (m³/ano) | 12.368.419,20 |
| Custo unitário (R\$/m³) | R\$ 4,10 |

Fonte: Próprio autor (2020).

APÊNDICE F - CUSTOS DA ALTERNATIVA 1 PARA A IRRIGAÇÃO (ADUTORA DE ÁGUA BRUTA)

| Item | Descrição | Unidade | Quantidade | Preço Unitário | Preço do Item |
|--|--|--------------|---------------|------------------|--------------------------|
| 1 | Adutora de Água Bruta - Material Ferro Fundido - DN 800mm | | | | |
| Locação e Nivelamento | | | | | |
| 1.1 | Locação e nivelamento | R\$/km | 94 | R\$ 1.088,26 | R\$ 102.296,44 |
| Custo anual - 2018 (R\$/ano) | | | | | R\$ 3.409,88 |
| Custo anual - 2020 (R\$/ano) | | | | | R\$ 3.585,61 |
| Implantação da adutora | | | | | |
| 1.2 | Obra (Construção e Montagem) | R\$/m | 94.000 | R\$ 1.600,00 | R\$ 150.400.000,00 |
| 1.3 | Gerenciamento e Fiscalização | R\$/m | 94.000 | R\$ 1.050,00 | R\$ 98.700.000,00 |
| 1.4 | Fornecimento de Tubulação e Acessórios | R\$/m | 94.000 | R\$ 1.050,00 | R\$ 98.700.000,00 |
| 1.5 | Projeto | R\$/m | 94.000 | R\$ 100,00 | R\$ 9.400.000,00 |
| Custo total (R\$) | | | | | R\$ 357.200.000,00 |
| Custo anual - 2017 (R\$/ano) | | | | | R\$ 11.906.666,67 |
| Custo anual - 2020 (R\$/ano) | | | | | R\$ 25.600.643,88 |
| Operação e manutenção da adutora | | | | | |
| 1.6 | Operação anual a partir do 10º ano | R\$/ano/10km | 94 | R\$ 250.000,00 | R\$ 2.350.000,00 |
| 1.7 | Valor anual de manutenção | R\$/ano/10km | 94 | R\$ 295.000,00 | R\$ 2.773.000,00 |
| Custo anual - 2017 (R\$/ano) | | | | | R\$ 4.339.666,67 |
| Custo anual - 2020 (R\$/ano) | | | | | R\$ 9.330.760,99 |
| Custo anual com adutora - Atualizado para março de 2020 (R\$/ano) | | | | | R\$ 34.934.990,48 |
| 2 | Estação de Bombeamento - 4 estações com Potência total de 7.600cv | | | | |
| Implantação da Estação de Bombeamento | | | | | |
| 2.1 | Custo de implantação da Estação de Bombeamento | R\$/unid | 4 | R\$ 3.000.000,00 | R\$ 12.000.000,00 |
| Custo total (R\$) | | | | | R\$ 12.000.000,00 |
| Custo anual - 2017 (R\$/ano) | | | | | R\$ 800.000,00 |
| Custo atualizado - Mar/2020 (R\$/ano) | | | | | R\$ 1.720.088,05 |
| Operação e manutenção | | | | | |
| 2.2 | Operação anual a partir do 10º ano (mão de obra e despesas diretas) | R\$/ano | 4 | R\$ 330.000,00 | R\$ 1.320.000,00 |
| 2.3 | Valor anual de manutenção | R\$/ano | 4 | R\$ 210.000,00 | R\$ 840.000,00 |
| Custo anual (R\$/ano) | | | | | R\$ 1.720.000,00 |
| Custo atualizado - Mar/2020 (R\$/ano) | | | | | R\$ 3.698.189,32 |
| Energia elétrica | | | | | |
| 2.4 | Custo anual com energia elétrica | R\$/kWh | 48.931.733,32 | 0,38188 | R\$ 18.686.050,32 |
| Custo anual - 2020 (R\$/ano) | | | | | R\$ 18.686.050,32 |
| Custo anual - Implantação, O&M e energia elétrica (R\$/ano) | | | | | R\$ 24.104.327,69 |

| Custo do Sistema por volume de água | |
|--|-------------------|
| Custo anual (R\$/ano) | R\$ 59.039.318,17 |
| Vazão anual média (m ³ /s) | 0,983 |
| Volume anual (m ³ /ano) | 30.999.888,00 |
| Custo unitário (R\$/m ³) | R\$ 1,90 |

Fonte: Próprio autor (2020).

**APÊNDICE G - CUSTOS DA ALTERNATIVA 2 PARA A IRRIGAÇÃO
(IMPLANTAÇÃO DE POÇOS)**

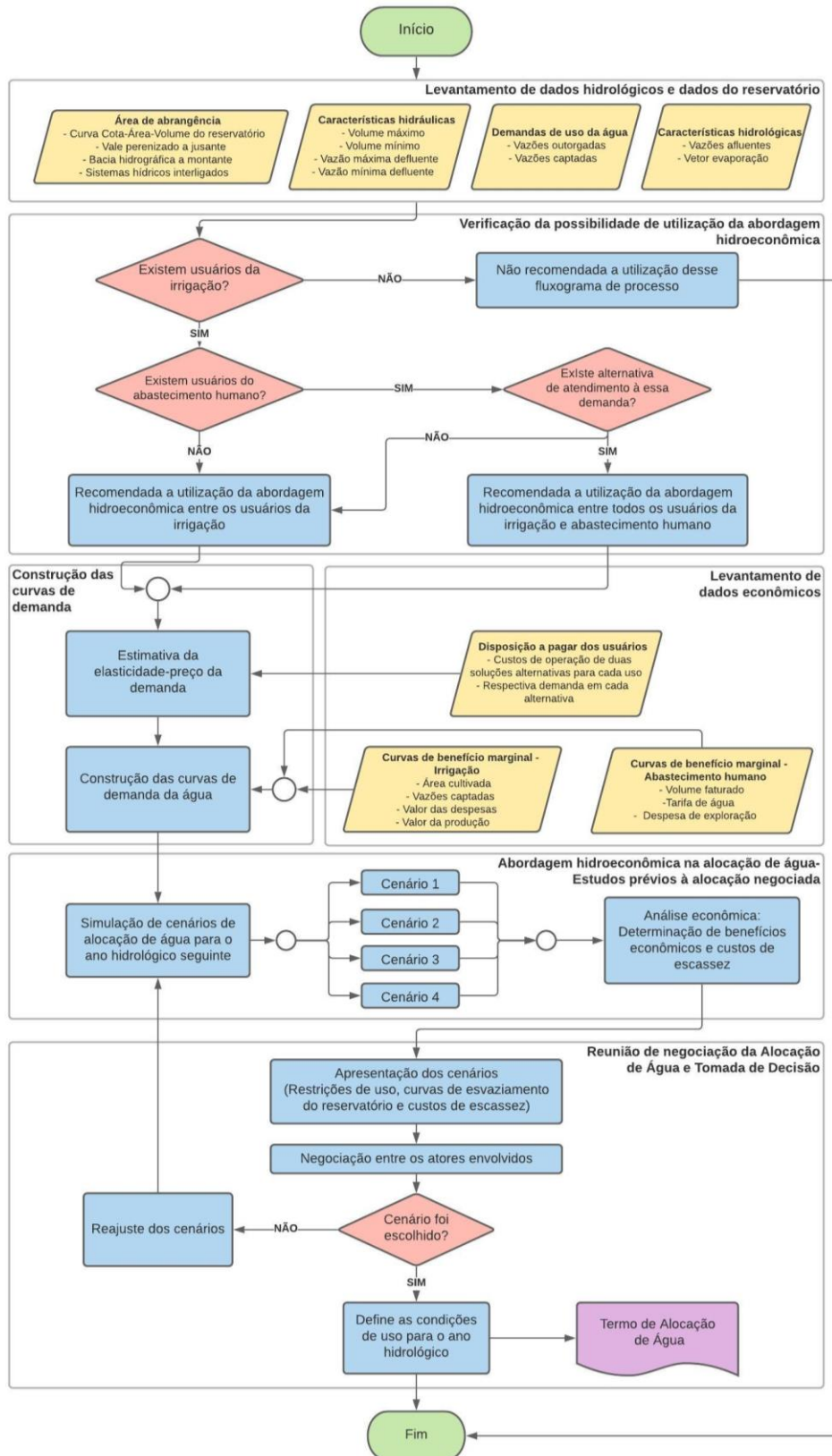
| Item | Descrição | Unidade | Quantidade | Preço Unitário | Preço do Item |
|---|---|----------|--------------|----------------|-----------------------|
| 1 | Implantação de Poço tubular - Calcáreo | | | | |
| | Implantação do Poço | | | | |
| 1.1 | Custo de Poço Tubular (CODEVASF, 2013) | R\$/poço | 64 | R\$ 72.623,10 | R\$ 4.614.471,77 |
| | Custo de Poço tubular - Mar 2020 (R\$) | R\$/poço | 64 | R\$ 102.786,82 | R\$ 6.531.074,24 |
| Custo Anual - Mar/2020 (R\$/ano) | | | | | R\$ 326.553,71 |
| Operação e Manutenção - 203 poços - Potência da bomba 2cv | | | | | |
| 1.2 | Operação anual (Tropical Poços, 2020) | R\$/ano | 102 | R\$ 3.600,00 | R\$ 228.744,00 |
| Custo anual (R\$/ano) | | | | | R\$ 228.744,00 |
| Energia elétrica | | | | | |
| 1.3 | Custo anual com energia elétrica | R\$/kWh | 1.310.036,46 | 0,38188 | R\$ 312.672,95 |
| Custo anual (R\$/ano) | | | | | R\$ 312.672,95 |
| Custo anual com a implantação, O&M de poços tubulares e consumo de energia elétrica (R\$/ano) | | | | | R\$ 867.970,66 |

| | | | | | |
|---|--|--------------|---------|---------------|--------------------------|
| 1 | Adutora de Água Bruta - Material PVC - DN 200mm | | | | |
| | Implantação da adutora | | | | |
| 1.1 | Obra (Construção e Montagem) | R\$/m | 203.328 | R\$ 200,00 | R\$ 25.416.000,00 |
| 1.2 | Gerenciamento e Fiscalização | R\$/m | 203.328 | R\$ 100,00 | R\$ 12.708.000,00 |
| 1.3 | Fornecimento de Tubulação e Acessórios | R\$/m | 203.328 | R\$ 100,00 | R\$ 12.708.000,00 |
| 1.4 | Projeto | R\$/m | 203.328 | R\$ 20,00 | R\$ 2.541.600,00 |
| Custo total (R\$) | | | | | R\$ 53.373.600,00 |
| Custo anual (R\$/ano) | | | | | R\$ 2.668.680,00 |
| Operação e manutenção da adutora | | | | | |
| 1.5 | Operação anual a partir do 10º ano | R\$/ano/10km | 203 | R\$ 80.000,00 | R\$ 1.016.640,00 |
| 1.6 | Valor anual de manutenção | R\$/ano/10km | 203 | R\$ 70.000,00 | R\$ 953.100,00 |
| Custo anual (R\$/ano) | | | | | R\$ 1.969.740,00 |
| Custo anual com adutora - 2007 (R\$/ano) | | | | | R\$ 4.638.420,00 |
| Custo anual com adutora - Atualizado para março de 2020 (R\$/ano) | | | | | R\$ 10.166.249,30 |

| | |
|-------------------------------------|-------------------|
| Custo do Sistema por volume de água | |
| Custo anual (R\$/ano) | R\$ 11.034.219,96 |
| Vazão anual média (m³/s) | 1,412 |
| Volume anual (m³/ano) | 44.528.832,00 |
| Custo unitário (R\$/m³) | R\$ 0,25 |

Fonte: Próprio autor (2020).

APÊNDICE H- PRODUTO TÉCNICO: PROCEDIMENTOS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DA ABORDAGEM HIDROECONÔMICA NA ALOCAÇÃO NEGOCIADA DE ÁGUA EM RESERVATÓRIOS ENVOLVENDO O USO DE IRRIGAÇÃO.



Fonte: Próprio autor (2020).

Etapa 1: Levantamento de dados hidrológicos e dados do reservatório

O processo se inicia com o levantamento de dados hidrológicos e dados do reservatório, com o objetivo de obter informações necessárias para a caracterização hidrológica do sistema hídrico. Inicialmente, deve-se levar em consideração a área de abrangência do reservatório que está sendo estudado. A ANA (2015) indica os parâmetros necessários para caracterização dessa área:

- Curva cota-área-volume (CAV): indica as áreas e volumes molhados do reservatório e podem ser obtidos junto à entidade gestora estadual, operador do reservatório ou à ANA;
- Vale perenizado a jusante: trecho do rio mantido pelas vazões defluentes do reservatório;
- Bacia hidrográfica a montante: área que contribui para as vazões afluentes ao reservatório;
- Sistemas hídricos interligados: todas as estruturas que operam de forma integrada ao reservatório, sejam outros reservatórios, adutoras, etc.

As características hidráulicas do reservatório refletem em restrições de operação ao sistema, e podem ser obtidas junto ao gestor ou operador do reservatório, sendo elas:

- Volume máximo do reservatório: volume máximo a ser armazenado para operação normal do reservatório;
- Volume mínimo do reservatório: volume mínimo necessário para a adequada operação do reservatório;
- Vazão máxima defluente do reservatório: vazão máxima a ser liberada a jusante sem causar prejuízos à barragem, aos usos, à população, ao meio ambiente ou a patrimônios culturais ou históricos.
- Vazão mínima defluente do reservatório: vazão a ser liberada pelo reservatório para atender às necessidades mínimas do vale perenizado a jusante.

Em relação às retiradas de água no reservatório, é necessário determinar as vazões demandadas e dados de evaporação do açude, já em relação à entrada de água, deve-se obter dados das vazões afluentes ao reservatório.

As demandas dos usuários são representadas pelos dados de outorgas de uso, que podem ser obtidos na entidade reguladora estadual, quando o corpo hídrico é de domínio estadual, ou na entidade reguladora federal, a ANA, quando o manancial é de responsabilidade da União. Em sua página oficial, a ANA disponibiliza os dados de outorgas emitidas para rios e reservatórios de domínio da União.

As vazões afluentes ao reservatório podem ser obtidas no portal HidroWeb, plataforma que integra o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH). A plataforma disponibiliza os dados de postos pluviométricos e fluviométricos da Rede Hidrometeorológica Nacional. No entanto, muitos postos não possuem dados consistentes para realização de estudos hidrológicos, sendo necessário buscar outras fontes de dados.

Uma alternativa para o levantamento de vazões afluentes aos reservatórios do semiárido é solicitar à ANA os dados utilizados no estudo “Reservatórios do Semiárido Brasileiro: hidrologia, balanço hídrico e operação”, que apresenta vazões mensais afluentes aos reservatórios da região semiárida brasileira, determinadas via modelagem chuva-vazão, no período de 1913 a 2013. Como esses dados de vazões não são medidos diretamente, é necessário verificar se os dados estimados adequam-se à situação real do reservatório.

Caso essas duas alternativas não sejam possíveis para a área de estudo, é possível estimar as vazões afluentes (V_{af}) através do balanço hídrico do reservatório, considerando as vazões afluentes como variável dependente, de acordo com a seguinte equação:

$$V_{af} = V_f + VE * A + V_{cap} - V_i - VP * A$$

Essas variáveis, e suas referências, são apresentadas a seguir.

Dados utilizados para estimativa do balanço hídrico do reservatório

| Variáveis | | Referência recomendada |
|-----------|--------------------------------|--|
| V_i | Volume inicial do reservatório | <ul style="list-style-type: none"> • Sistema de Acompanhamento de Reservatórios/ANA • Gestor ou Operador do reservatório |
| V_f | Volume final do reservatório | <ul style="list-style-type: none"> • Sistema de Acompanhamento de Reservatórios/ANA • Gestor ou Operador do reservatório |
| VE | Vetor Evaporação | <ul style="list-style-type: none"> • Estudo dos Reservatórios do Semiárido Brasileiro: hidrologia, balanço hídrico e operação/ANA • Evaporação Total – Normais Climatológicas/INMET |
| VP | Vetor Precipitação | <ul style="list-style-type: none"> • Reservatórios do Semiárido Brasileiro: hidrologia, balanço hídrico e operação/ANA • Precipitação Acumulada Mensal – Normais Climatológicas/INMET |
| A | Área alagada | Cotas do reservatório: <ul style="list-style-type: none"> • Plataforma Hidroweb • Sistema de Acompanhamento de Reservatórios/ANA Curva CAV: <ul style="list-style-type: none"> • Entidade gestora estadual ou ANA • Operador do reservatório |
| V_{cap} | Volume captado no reservatório | <ul style="list-style-type: none"> • Boletins de acompanhamento da alocação de água (ANA), caso seja realizada Alocação Negociada de Água no reservatório • Operador do reservatório • Solicitação de dados aos usuários |

Fonte: Próprio autor, 2020.

Não sendo possível aplicar as alternativas citadas, recomenda-se que o usuário do modelo busque outros estudos hidrológicos para determinação das vazões afluentes.

Em se tratando dos dados de evaporação no reservatório, pode-se utilizar o vetor evaporação também disponibilizado no estudo dos Reservatórios do Semiárido Brasileiro: hidrologia, balanço hídrico e operação (ANA, 2017) para reservatórios dessa região. O vetor evaporação estimado pela ANA foi obtido através da interpolação de dados de evaporação total de estações cadastradas nas Normais Climatológicas do Brasil (período 1961-1990) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Caso o reservatório da área de estudo não esteja localizado na região semiárida, recomenda-se coletar os dados diretamente no INMET, que apresenta dados de evaporação total para alguns municípios brasileiros. Sendo assim, deve-se verificar o município em que o reservatório estiver localizado, e na falta deste, pode-se utilizar dados de um ou mais municípios próximos à área de estudo.

Etapa 2: Verificação da possibilidade de utilização da abordagem hidroeconômica

Após a caracterização hidrológica do reservatório em estudo, deve-se verificar se é recomendado utilizar a abordagem hidroeconômica. Primeiramente, verifica-se a existência de usuários da irrigação, e tem-se duas opções: caso a resposta seja negativa, não se recomenda utilizar a abordagem hidroeconômica proposta, isso porque a mesma está direcionada para alocação de água em reservatórios que apresentem o uso da irrigação, e assim, encerra-se o processo; sendo positiva, dá-se continuidade ao processo com a segunda verificação.

Na segunda verificação, busca-se responder sobre a existência de usuário do abastecimento humano. Caso negativo, recomenda-se a utilização da abordagem hidroeconômica para a alocação de água entre os usuários da irrigação. Caso exista usuário do abastecimento humano, é necessário verificar se o usuário é atendido apenas pelo reservatório em questão ou se existe a possibilidade de captação em um manancial alternativo que ofereça segura hídrica. Existindo outro manancial para atender a essa demanda, recomenda-se a utilização da abordagem hidroeconômica na alocação de água entre todos os usuários, sejam eles do setor agrícola ou do setor do abastecimento humano. Caso o reservatório em estudo seja o único manancial de captação, esse uso deve ser atendido de acordo com as prioridades, e a análise hidroeconômica pode ser implementada na alocação entre os usuários da irrigação.

Embora sejam citados apenas os usuários da irrigação e do abastecimento humano nessa proposta, é recomendada ainda a utilização da abordagem hidroeconômica no processo de alocação de água em outros setores usuários, tais como geração de energia hidrelétrica, piscicultura. Sendo assim, a metodologia pode ser utilizada realizando algumas adaptações de

acordo o usuário. As etapas que necessitam ser adaptadas são a de verificação, levantamento de dados econômicos e construção das curvas de demandas .

Etapas 3 e 4: Levantamento de dados econômicos e Construção das curvas de demanda

Essas etapas envolvem o levantamento de dados necessários para a construção das curvas de demanda da água. Existem diversos métodos para a estimativa dessas curvas, como mostra o quadro a seguir.

Métodos para obtenção da Curva de Demanda da água

| Técnica | Características | Tipo de entrada de dados | Principais categorias de aplicação |
|---------------------------------|--|--|---|
| Expansão do ponto | Método mais simplificado, que estima a curva de demanda a partir de um ponto previamente conhecido. Considera elasticidade constante. | Um ponto (quantidade da água e preço) da função demanda e elasticidade exógena | Útil para todas as categorias, mas é necessário outro método para determinação da elasticidade |
| Programação matemática | Abordagem de otimização computadorizada. Exige maior tempo de dedicação para utilizar o software. | Produto, preços e orçamentos | Grandes volumes de água para produção, por exemplo irrigação e indústria |
| Função de produção | O valor da água é estimado a partir de seus benefícios como fator de produção. Exige maior quantidade de dados de entrada. | Dados experimentais ou relação física | Energia hidrelétrica, irrigação, processos de fabricação individual |
| Regressão estatística | Organiza os dados necessários e aplica procedimentos de regressão estatística para estimar os coeficientes da função. | Comportamento sob preços administrados, transações de mercado, metadados | Urbano/residencial, industrial/comercial |
| Avaliação contingente | É um método de avaliação hipotética, em que pede-se aos agentes que forneçam detalhes sobre sua disposição a pagar. Sua desvantagem é que os usuários podem não revelar sua real disposição a pagar. | Entrevista com consumidores que revelam sua disposição a pagar pelo bem | Urbano/residencial, recreação |
| Demanda por água “Tudo ou Nada” | Revela o máximo valor que os usuários estariam dispostos a pagar pelo bem, ficando indiferentes entre continuar consumindo o bem ou buscar outra alternativa que lhe ofereçam menores custos. | Dois pares de pontos que revelam preços de reserva do bem | Pode ser utilizada para abastecimento humano, abastecimento industrial, irrigação, geração de energia elétrica, diluição de efluentes |

Fonte: Próprio autor com base em Griffin (2006) e Carrera-Fernandez & Garrido (2002).

Na dissertação que deu origem a esse produto (OLIVEIRA, 2020), foi testada a utilização do Método de Expansão do Ponto. Como citado acima, esse método exige que a elasticidade-preço da demanda seja obtida de forma externa ao método. Sendo assim, utilizou-se a curva de

demanda “Tudo ou Nada” para obter a elasticidade, que representa a disposição a pagar do consumidor.

A demanda “Tudo ou Nada” é obtida a partir de preços de reserva de cada usuário, que são estimados a partir de uma situação hipotética em que a oferta de água do atual manancial é interrompida, e os usuários precisam buscar alternativas de substituição. De acordo com Carrera-Fernandez e Garrido (2002), o preço de reserva é o valor máximo que o usuário se dispõe a pagar e permanecer indiferente entre continuar utilizando a água do atual manancial ou utilizar uma alternativa de menor custo.

Sendo assim, deve-se escolher duas alternativas de menor custo, e estimar para cada alternativa o preço por volume de água captada em um determinado ponto de demanda. As alternativas de substituição do manancial utilizado podem envolver a captação de água subterrânea, a importação de água de outras bacias, a aquisição de água em carros-pipas, o aproveitamento de águas pluviais, entre outros.

Admitindo que os custos de cada alternativa são a disposição a pagar do usuário, obtém-se dois pares pontos da curva de demanda “Tudo ou nada”. Cada par de ponto representa uma quantidade demandada e o seu preço. De posse dos dois pares de ponto, tem-se a curva de demanda “Tudo ou nada”:

$$P = a - b * q$$

Sabendo que a curva de demanda tudo ou nada é curva média da receita total, obtém-se a receita total a partir do produto entre a curva média e a quantidade:

$$RT = a * q - b * q^2$$

Através de um processo de derivação, obtém-se a função de demanda ordinária, ou receita marginal:

$$p = \frac{dRT}{dq} = a - 2 * b * q$$

Por fim, obtém-se a elasticidade-preço da demanda em um determinado ponto (p,q):

$$\epsilon = \frac{dq}{dRT} * \frac{p}{q} = \frac{1}{\frac{dRT}{dq}} * \frac{p}{q} = \frac{1}{-2 * b} * \frac{p}{q}$$

A curva de benefício marginal no método de expansão do ponto é dado na forma exponencial decrescente, do tipo:

$$P = a \times e^{-b \times Q}$$

Onde P é o benefício marginal em \$/(m³/s), Q é a vazão em m³/s e “a” e “b” são coeficientes da curva exponencial dados por:

$$a = \frac{P_1}{\exp\left[\frac{1}{\epsilon}\right]} \quad \text{e} \quad b = \frac{-1}{\epsilon \times Q}$$

Os dados utilizados para a estimativa da curva de demanda para o abastecimento humano são volume de água faturado, tarifa de água e a despesa de exploração por volume faturado, que podem ser obtidos no Sistema Nacional de Informação em Saneamento ou diretamente com a companhia de abastecimento de água.

Para a irrigação, deve-se obter os dados relativos à vazão de captação, área cultivada, valor das despesas e valor da produção, que podem ser solicitados junto às empresas agrícolas ou estimados a partir do Censo Agropecuário/IBGE.

Ressalta-se que a metodologia citada é uma recomendação com base na dissertação realizada, no entanto o operador do modelo pode utilizar o método que for mais adequado à sua área de estudo e aos dados disponíveis.

Etapa 5: Simulação da abordagem hidroeconômica na alocação de água – Estudos prévios à alocação negociada

Para realizar a análise da alocação de água com base na abordagem hidroeconômica recomenda-se a utilização do modelo de rede de fluxo Labsid AcquaNet, um modelo integrado de análise de sistemas complexos de recursos hídricos. A escolha do modelo deu-se por ser um *software* de livre acesso e apresentar praticidade na simulação dos sistemas hídricos. O AcquaNet é dividido em módulos que funcionam de forma independente de acordo com a solução do problema analisado (LabSid, 2013; LabSid, 2020; PORTO *et al*, 2003).

Os dados utilizados na simulação são os dados levantados na etapa 1 e as curvas de demanda estimadas na etapa 4. Os módulos utilizados para essa análise são o módulo de alocação de água e o módulo de análise econômica. O módulo de alocação realiza a distribuição das vazões do sistema com base nas prioridades atribuídas às demandas. Enquanto o módulo de análise econômica integra o valor monetário associado aos diferentes usos da água, através da utilização de curvas de benefício marginal (curvas de demanda), buscando atingir a maximização do benefício econômico.

Sendo assim, propõe-se a simulação de quatro cenários de alocação de água para o ano hidrológico seguinte:

- Cenário 1: simulado no módulo de alocação de água do AcquaNet, considerando as características hidrológicas e as prioridades de uso da água.
- Cenário 2: simulado no módulo de alocação de água do AcquaNet, considerando as características hidrológicas e as prioridades de uso da água.
- Cenário 3: simulado no módulo de alocação de água do AcquaNet, considerando as características hidrológicas e as prioridades de uso da água.
- Cenário 4: simulado no módulo de análise econômica do AcquaNet, aborda as restrições econômicas através da simulação hidroeconômica, considerando as características hidrológicas e as curvas de benefício marginal.

No atual processo de alocação de água são analisados três cenários de atendimento a demanda com base nas prioridades dos usuários. Sendo assim, a proposta da metodologia da abordagem hidroeconômica é a inserção do quarto cenário.

Após a simulação dos cenários, propõe-se a análise econômica de todos os cenários simulados, com o objetivo de estimar o benefício anual médio e o custo de escassez de cada cenário de alocação de água.

Ressalta-se que só é possível obter o benefício econômico, no AcquaNet, através do Módulo de Análise Econômica. Por isso, é necessário realizar uma adequação ao modelo com objetivo de estimar o benefício anual médio dos cenários de alocação de água por prioridade (cenários 1, 2 e 3). Após a simulação da alternativa no módulo alocação de água por prioridades, os resultados obtidos para vazões médias fornecidas de cada usuário para cada mês de simulação devem ser utilizados como vazão de demanda de cada usuário no módulo de análise econômica, que incorpora as curvas de benefício marginal, sendo possível obter o benefício econômico de todas as alternativas.

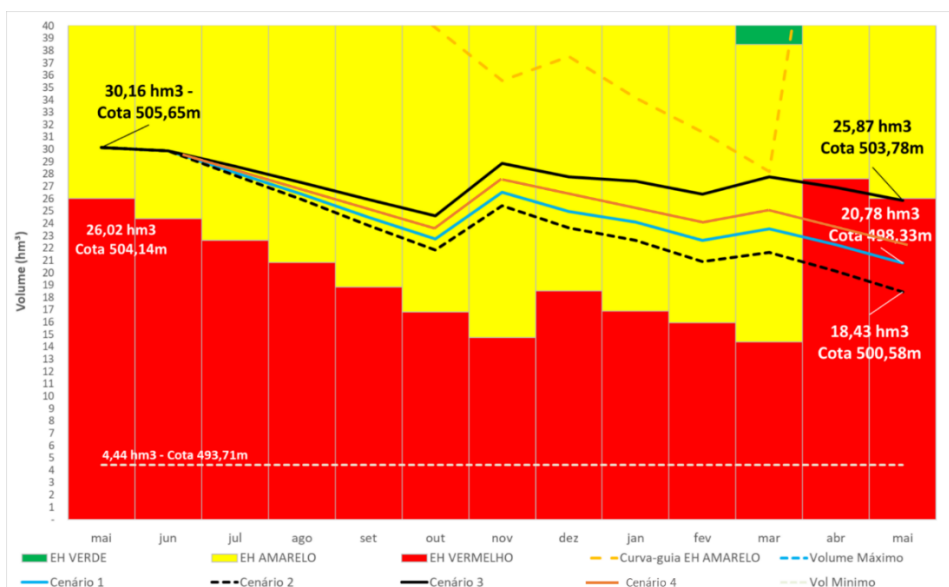
A partir dos valores de benefícios econômicos é possível obter o custo da escassez, que representa o custo associado à quantidade de água que deixa de ser alocada. O custo da escassez é a diferença entre o benefício desejado pelo usuário e o benefício vinculado à quantidade de água alocada.

Etapa 6: Reunião de negociação da Alocação de água e Tomada de decisão

A última etapa consiste na reunião de alocação de água negociada entre os atores envolvidos. Essa etapa inicia-se com a apresentação dos cenários propostos que devem incluir as restrições de uso, as curvas de esvaziamento do reservatório, os benefícios anuais médios e os custos de escassez de cada usuário e do sistema como um todo.

A apresentação pode se dar de forma similar à apresentação atualmente utilizada pela ANA para a simulação dos cenários de alocação de água nas reuniões de negociação, com a incorporação do cenário 4. A figura a seguir mostra uma possível apresentação das curvas de esvaziamento dos reservatórios nos diferentes cenários de alocação de água.

Apresentação das curvas de esvaziamento do reservatório nos cenários propostos



Fonte: Adaptado de ANA (2020).

Após a apresentação, ocorre a discussão dos cenários de alocação de água entre os atores envolvidos, que poderão avaliar o impacto econômico das propostas. Se houver uma decisão entre os usuários, ficam definidas as condições de uso da água para o ano hidrológico seguinte, sendo firmado o Termo de Alocação de Água e finaliza-se o processo. Caso não haja uma decisão sobre o cenário a ser adotado, realizam-se ajustes dos cenários de acordo com as discussões dos atores envolvidos.

Apresenta-se a seguir um possível formato de apresentação, em forma de tabela, das restrições de uso, benefícios econômicos e custos de escassez de cada usuário e do sistema para os cenários de alocação de água.

Proposta de apresentação das restrições de uso e custos de escassez dos cenários de alocação de água

| FINALIDADES | CENÁRIO 1 | | | | | CENÁRIO 2 | | | | | CENÁRIO 3 | | | | | CENÁRIO 4 | | | | |
|-----------------------|-----------|-----|---------------------|-------------------|-----|-----------|-----|---------------------|-------------------|-----|-----------|-----|---------------------|-------------------|-----|-----------|-----|---------------------|-------------------|-----|
| | Vazão | | Benefício econômico | Custo de escassez | | Vazão | | Benefício econômico | Custo de escassez | | Vazão | | Benefício econômico | Custo de escassez | | Vazão | | Benefício econômico | Custo de escassez | |
| | (l/s) | (%) | (R\$/ano) | (R\$/ano) | (%) | (l/s) | (%) | (R\$/ano) | (R\$/ano) | (%) | (l/s) | (%) | (R\$/ano) | (R\$/ano) | (%) | (l/s) | (%) | (R\$/ano) | (R\$/ano) | (%) |
| Abastecimento público | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Perímetro irrigado | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Usos a jusante | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Perenização | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Total | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Fonte: Próprio autor com base em ANA (2020).

**ANEXO A - VAZÕES AFLUENTES AO RESERVATÓRIO MIRORÓS – PERÍODO DE 1926
A 1933 (M³/S)**

| Ano | Mês | | | | | | | | | | | |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|
| | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez | Jan | Fev | Mar | Abr |
| 1926 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,205 | 2,518 | 0,000 | 0,000 | 0,994 | 0,000 |
| 1927 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,068 | 12,921 | 2,187 | 0,000 | 2,915 | 0,000 |
| 1928 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 13,782 | 0,066 | 1,834 | 0,133 | 0,000 |
| 1929 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,205 | 20,209 | 0,199 | 2,568 | 1,922 | 7,121 |
| 1930 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,411 | 5,235 | 0,000 | 0,440 | 1,590 | 0,479 |
| 1931 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,265 | 0,000 | 0,928 | 0,068 |
| 1932 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 2,054 | 0,000 | 0,795 | 0,220 | 0,000 | 0,068 |

Fonte: Adaptado de ANA (2020).