



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E GESTÃO DE RECURSOS NATURAIS

PROCESSO DE CONCESSÃO DE OUTORGAS EM SISTEMAS HÍDRICOS
SUPERFICIAIS CONTROLADOS POR RESERVATÓRIOS

Me. Virgínia da Costa Brito

(Doutoranda)

Profa. Dra. Dayse Luna Barbosa

(Orientadora)

Prof. Dr. Valterlin da Silva Santos

(Coorientador)

Campina Grande – PB

Março/2024

VIRGÍNIA DA COSTA BRITO

**PROCESSO DE CONCESSÃO DE OUTORGAS EM SISTEMAS HÍDRICOS
SUPERFICIAIS CONTROLADOS POR RESERVATÓRIOS**

Tese apresentada ao Programa de
Doutorado em Engenharia e Gestão de
Recursos Naturais.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Engenharia de Recursos Naturais

**LINHA DE PESQUISA: Análise de sistema e manejo integrado de bacias
hidrográficas**

ORIENTADORA: DAYSE LUNA BARBOSA

COORIENTADOR: VALTERLIN DA SILVA SANTOS

Campina Grande – PB

Março/2024

B862p

Brito, Virgínia da Costa.

Processo de concessão de outorgas em sistemas hídricos superficiais controlados por reservatórios / Virgínia da Costa Brito. – Campina Grande, 2024.

125 f. : il. color.

Tese (Doutorado em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2024.

"Orientação: Profa. Dra. Dayse Luna Barbosa, Prof. Dr. Valterlin da Silva Santos".

Referências.

1. Gestão de Recursos Hídricos. 2. Vazão Máxima Outorgável. 3. Operação do Sistema Hídrico – Processo de Outorga. 4. Indicadores de Desempenho. 5. Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas. 6. Simulação – Baseado em Rede de Fluxo. I. Barbosa, Dayse Luna. II. Santos, Valterlin da Silva. III. Título.

CDU 556.18(043)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
POS-GRADUACAO EM ENGENHARIA E GESTAO DE RECURSOS NATURAIS
Rua Aprigio Veloso, 882, - Bairro Universitario, Campina Grande/PB, CEP 58429-900

FOLHA DE ASSINATURA PARA TESES E DISSERTAÇÕES

Virgínia da Costa Brito

"PROCESSO DE CONCESSÃO DE OUTORGAS EM SISTEMAS HÍDRICOS SUPERFICIAIS CONTROLADOS POR RESERVATÓRIOS"

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais como pré-requisito para obtenção do título de DOUTOR(a) Engenharia e Gestão de Recursos Naturais.

Aprovada em: 08/03/2024

Dr.(a.) **Dayse Luna Barbosa** (Orientador PPGEGRN).

Dr.(a.) **Valterlin da Silva Santos/UFCG** (Coorientador).

Dr.(a.) **Andrea Carla Lima Rodrigues/PPGEGRN** (Examinador Interno).

Dr.(a.) **Vera Lucia Antunes de Lima/PPGEGRN** (Examinador Interno).

Dr.(a.) **Cícero Fellipe Diniz de Santana/UACTA** (Examinador Externo).

Dr.(a.) **Rosinete Batista dos Santos/UACTA** (Examinador Externo).



Documento assinado eletronicamente por **DAYSE LUNA BARBOSA, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 08/03/2024, às 19:44, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **VERA LUCIA ANTUNES DE LIMA, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 11/03/2024, às 19:32, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **VALTERLIN DA SILVA SANTOS, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 13/03/2024, às 10:23, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **ROSINETE BATISTA DOS SANTOS RIBEIRO, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 13/03/2024, às 10:42, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **CICERO FELLIPE DINIZ DE SANTANA, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 18/03/2024, às 08:50, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **ANDREA CARLA LIMA RODRIGUES, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 25/03/2024, às 08:39, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **VIRGINIA DE FATIMA BEZERRA NOGUEIRA, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 05/04/2024, às 08:34, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador **4258321** e o código CRC **656673B6**.

DEDICATÓRIA

*Aos meus pais Ari e Vilma e ao meu
marido João Arthur, dedico-lhes esta
conquista.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por todas as oportunidades que concedeu em minha vida e por mais uma graça alcançada.

Aos meus pais, marido, irmãos e sobrinhos por todo o amor e cuidado ao longo dessa jornada.

Ao meu orientador Valterlin da Silva Santos por todo o auxílio prestado e por toda a dedicação para que esse trabalho fosse concluído.

A todos os professores e a coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais por todo o auxílio e conhecimentos adquiridos.

Aos amigos que fiz ao longo da minha caminhada acadêmica por toda a amizade e ajuda nesse processo.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPQ pelo apoio financeiro durante esses anos.

RESUMO

O aumento da demanda pelos recursos hídricos associado à diminuição da qualidade da água, conduz a um cenário de conflito pelo seu uso. Nesse contexto, a Lei das Águas (Lei 9.433/1997) traz a outorga de direito de uso dos recursos hídricos como importante ferramenta de suporte à gestão dos recursos hídricos. Apesar de prevista em legislações e decretos, tanto no âmbito nacional como estadual, a outorga possui complexidade na sua implementação e administração. Com o intuito de ajudar nesse processo, metodologias foram desenvolvidas para determinação da vazão máxima outorgável que são, em geral, baseadas em dois princípios: vazão referencial e quantidade de falhas pré-determinadas, as quais apresentam como desvantagem a tendência a limitar o crescimento dos usos dos recursos hídricos na maioria do tempo. Dessa forma, para que seja possível o atendimento às necessidades hídricas de forma eficiente, foi desenvolvida uma metodologia para apoiar o processo de outorga em sistemas hídricos controlados por reservatórios. Tal metodologia é baseada na operação do sistema hídrico, de forma isolada e/ou integrada, avaliando o impacto da inserção de uma nova outorga através de indicadores de desempenho de atendimento de demandas e de sistemas hídricos. A metodologia foi aplicada na bacia hidrográfica do rio Paraíba contemplando os reservatórios com capacidade maior ou igual a 10 milhões de m³. Foram idealizados 10 cenários para a operação do sistema hídrico, os quais apresentam variações na vazão exógena do Projeto de Integração do rio São Francisco - PISF (vazões média, mínima e real), no traçado do sistema (integrado e isolado) e na temporalidade (outorgas atuais e futuras para um período de 20 anos). Foi utilizada uma ferramenta de simulação, que possibilitou a inserção do sistema hídrico proposto de forma isolada e integrada sendo definido o indicador de confiabilidade e perdas hídricas para avaliação dos cenários propostos. Os resultados mostraram que a metodologia proposta é capaz de conceder outorgas, minimizando problemas peculiares de déficit hídrico e os conflitos de uso da água. A utilização de um modelo de simulação baseado em rede de fluxo permitiu a incorporação das prioridades de atendimento dos diversos usos além de permitir a operação do sistema em configurações diferentes, sendo possível analisar o impacto da concessão de uma outorga tanto a montante como a jusante da mesma. Com os resultados obtidos no estudo de caso, observou-se que os sistemas isolados apresentaram menores perdas hídricas para o sistema, possibilitando um aumento no número de outorgas concedidas. Tem-se que a metodologia proposta possibilitou atendimento de mais outorgas em comparação com a vazão máxima outorgável, além de apontar que a vazão referencial utilizada para o reservatório São Salvador é maior do que sua capacidade de atendimento.

Palavras-chaves: Vazão máxima outorgável; processo de outorga; operação do sistema hídrico; indicadores de desempenho; simulação.

ABSTRACT

The increasing demand for water resources associated with decreasing water quality leads to a scenario of conflict over its use. In this context, the Water Law (Law 9.433/1997) introduces the granting of the right to use water resources as an important tool to support water resource management. Despite being provided for in national and state legislation and decrees, the granting process is complex in its implementation and administration. In order to assist in this process, methodologies have been developed for determining the maximum grantable flow, which are generally based on two principles: reference flow and pre-determined failure quantity, which have the disadvantage of tending to limit the growth of water resource uses most of the time. Thus, in order to efficiently meet water needs, a methodology has been developed to support the granting process in water systems controlled by reservoirs. This methodology is based on the operation of the water system, either in isolation and/or integrated, evaluating the impact of the insertion of a new grant through performance indicators of demand fulfillment and water systems. The methodology was applied in the Paraíba river basin, considering reservoirs with a capacity greater than or equal to 10 million cubic meters. Ten scenarios for the operation of the water system were designed, which present variations in the exogenous flow of the São Francisco River Integration Project (average, minimum, and real flows), in the system layout (integrated and isolated), and in temporality (current and future grants for a period of 20 years). A simulation tool was used, which allowed the insertion of the proposed water system in both isolated and integrated forms, defining the reliability indicator and water losses to evaluate the proposed scenarios. The results showed that the proposed methodology is capable of granting licenses, minimizing specific water deficit problems and water use conflicts. The use of a simulation model based on flow networks allowed the incorporation of priorities for meeting various uses and allowed the system to operate in different configurations, making it possible to analyze the impact of granting a license both upstream and downstream. With the results obtained in the case study, it was observed that isolated systems showed lower water losses for the system, allowing an increase in the number of licenses granted. It is found that the proposed methodology enabled the granting of more licenses compared to the maximum grantable flow, and also indicated that the reference flow used for the São Salvador reservoir is higher than its capacity to meet demand.

Key-words: Maximum grantable flow; granting process; operation of the water system; performance indicators; simulation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Início da regulamentação do instrumento de outorga nos estados e na ANA	31
Figura 2 - Duração e volumes de déficit em períodos de falha.....	43
Figura 3 - Fluxograma da metodologia de apoio ao processo de concessão de outorga.....	49
Figura 4 - Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba.....	53
Figura 5 - Fluxograma do estudo de caso	55
Figura 6 - Layout do sistema em estudo	58
Figura 7 - Sistemas isolados.....	59
Figura 8 - Mapa com a localização de todas as outorgas do sistema	62
Figura 9 - Mapa com a localização das outorgas de abastecimento do sistema.....	62
Figura 10 - Mapa com a localização das outorgas de aquicultura do sistema.....	63
Figura 11 - Mapa com a localização das outorgas de irrigação do sistema	63
Figura 12 - Outorgas existentes no sistema em estudo	64
Figura 13 - Exemplo do sistema integrado no software AcquaNet.....	72
Figura 14 - Exemplo do sistema isolado no software AcquaNet	73
Figura 15 - Definições gerais para os drenos dos subsistemas no AcquaNet	73
Figura 16 - Tela de definições gerais	75
Figura 17 - Exemplo de traçado.....	75
Figura 18 - Exemplo de resumo das demandas.....	77
Figura 19 - Separação da nova vazão de outorga da vazão das outorgas anteriores	78
Figura 20 - Impacto de uma nova vazão em outra já existente no sistema	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Outorgas pelo tipo de uso em todo o sistema.....	61
Tabela 2 - Outorgas pelo tipo de uso nos reservatórios do sistema.....	65
Tabela 3 - Outorgas pelo tipo de uso nos rios e trechos de rios do sistema	65
Tabela 4 - Média mensal de precipitação dos anos de 2003 a 2022 nos reservatórios em estudo	67
Tabela 5 - Valores da taxa de evaporação (mm) dos reservatórios em estudo.....	67
Tabela 6 - Resumo dos parâmetros de calibração do modelo SMAP mensal	68
Tabela 7 - Demanda per capita por faixa de habitantes no Estado da Paraíba	69
Tabela 8 - Vazão (m ³ /s) das adutoras para um horizonte de tempo de 20 anos	70
Tabela 9 - Vazões do PISF (m ³ /s)	71
Tabela 10 - Perímetros irrigados na área de estudo.....	72
Tabela 11 - Indicador Confiabilidade e perdas para o cenário C-AInMéd.....	80
Tabela 12 - Indicador Confiabilidade e perdas para o cenário C-AInMín	81
Tabela 13 - Indicador Confiabilidade e perdas para o cenário C-AInR	81
Tabela 14 - Indicador e perdas para o cenário C-AIsMéd.....	83
Tabela 15 - Indicador e perdas para o cenário C-AIsMín	83
Tabela 16 - Indicador e perdas para o cenário C-AIsR	84
Tabela 17 - Comparação da quantidade de outorgas não concedidas através da vazão referencial e da metodologia proposta.....	86
Tabela 18 - Atendimento dos perímetros irrigados para o cenário C-FInMéd.....	88
Tabela 19 - Atendimento dos perímetros irrigados para o cenário C-FInMín	89
Tabela 20 - Indicador e perdas para o cenário C-FInMéd.....	90
Tabela 21 - Indicador e perdas para o cenário C-FInMín	90
Tabela 22 - Atendimento dos perímetros irrigados para o cenário C-FIsMéd	92
Tabela 23 - Atendimento dos perímetros irrigados para o cenário C-FIsMín.....	92
Tabela 24 - Indicador e perdas para o cenário C-FIsMéd	93
Tabela 25 - Indicador e perdas para o cenário C-FIsMín.....	93
Tabela 26 - Resumo dos resultados nos cenários analisados	95

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Considerações apresentadas no Decreto 19.260/97	32
Quadro 2 - Cenários propostos no estudo	56
Quadro 3 - Reservatórios com seus respectivos postos pluviométricos	66

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
1.1 OBJETIVOS	18
1.1.1 Geral.....	18
1.1.2 Específicos.....	18
1.2 JUSTIFICATIVA.....	19
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1 ASPECTOS DO GERENCIAMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS	21
2.2 POLÍTICA NACIONAL DOS RECURSOS HIDRICOS	22
2.3 SISTEMA NACIONAL DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS (SINGERH)	26
2.4 OUTORGA DE DIREITO DE USO DE ÁGUA NO BRASIL	27
2.4.1 Legislação Federal.....	28
2.4.2 Outorga no Estado da Paraíba	30
2.5 CRITÉRIOS DE OUTORGA.....	33
2.5.1 Vazão referencial	34
2.5.2 Critério de falhas pré-determinadas	36
2.6 SISTEMAS DE SUPORTE A DECISÃO (SSD)	37
2.6.1 Simulação.....	38
2.6.2 Otimização	40
2.6.3 Indicadores de desempenho para sistemas de recursos hídricos	42
3. METODOLOGIA PARA CONCESSÃO DE OUTORGA PARA SISTEMAS DE RECURSOS HÍDRICOS.....	48
3.1 ENTRADA DOS DADOS	49
3.2 DEFINIÇÃO DO LIMITE DE ALTERAÇÃO PARA O INDICADOR CONFIABILIDADE.....	50
3.3 PROCESSO DE CONCESSÃO DE OUTORGA	51
4. ESTUDO DE CASO	53
4.1 ÁREA DE ESTUDO	53
4.2 ETAPAS PARA O ESTUDO DE CASO	54
4.2.1 Cenários	55
4.2.2 Dados do sistema	61
4.2.2 Simulação com o software AcquaNet.....	72
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	80
5.1 CENÁRIOS C-AINMÉD, C-AINMÍN E C-AINR	80
5.2 CENÁRIOS C-AISMÉD, C-AISMÍN E C-AISR	82
5.3 CENÁRIOS C-FINMÉD E C-FINMÍN	87
5.4 CENÁRIOS C-FISMÉD E C-FISMÍN.....	91
6. CONCLUSÕES.....	96

7. REFERÊNCIAS.....	98
----------------------------	-----------

1. INTRODUÇÃO

A Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997, conhecida como Lei das Águas, institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), marco importante na história do gerenciamento hidrológico brasileiro. Essa política tem como objetivos: assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos; a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, incluindo o transporte aquaviário, com vistas ao desenvolvimento sustentável; a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais; e incentivar e promover a captação, a preservação e o aproveitamento de águas pluviais.

Observa-se assim, que a PNRH abarca o gerenciamento dos recursos hídricos para proporcioná-los com qualidade e quantidade adequadas para as atuais e futuras gerações, evitando, dessa forma, os conflitos existentes pelo seu uso.

No entanto, apesar de haver diversos ordenamentos jurídicos em prol do desenvolvimento sustentável dos recursos ambientais, tais como os hidrológicos, os conflitos pelo uso e acesso a estes estão cada vez mais presentes. O crescente desenvolvimento econômico promove o desequilíbrio entre a demanda e a oferta de água, causando constantes conflitos entre usuários, principalmente em regiões com escassez hídrica, como o semiárido nordestino (BRITO, 2019; SANTOS, 2011).

Nesse contexto de conflitos, a Lei das Águas possui instrumentos que visam auxiliar no cumprimento dos seus objetivos, como o de assegurá-los para todos os tipos de uso em quantidade e qualidade adequadas. Entre eles está a outorga de direito de uso da água como importante ferramenta de suporte à gestão dos recursos hídricos.

A outorga de direito de uso dos recursos hídricos é concedida através de ato administrativo, no qual o poder público outorgante faculta ao outorgado o direito de uso dos recursos hídricos, para os diversos tipos de uso, por prazo determinado e mediante os termos e condições expressas no respectivo ato. Dessa forma, a outorga auxilia no processo de gestão hídrica, tentando conciliar os conflitos existentes entre oferta e demanda de água, ocasionando benefícios nos âmbitos social, econômico e ambiental, visto que com uma melhor gestão dos recursos hídricos, há mais oferta de água para atendimento das suas diversas demandas.

Além do aspecto socioeconômico, a outorga é de suma importância para o meio ambiente, visto que a água é uma fonte natural essencial para a manutenção da vida nos ecossistemas. Sendo assim, observa-se a relevância do instrumento outorga para os valores sociais, culturais, econômicos e ambientais.

Devido a sua importância, além da legislação federal, a outorga também está prevista em legislações estaduais e decretos que regulamentam este instrumento. Na Paraíba, a outorga de direito de uso dos recursos hídricos é abordada na Lei nº 6.308, de 02 de julho de 1996, que objetiva assegurar o uso integrado e racional dos recursos hídricos, para a promoção do desenvolvimento e do bem-estar da população e é regulamentada através do decreto nº 19.260, de 31 de outubro de 1997.

Apesar de prevista em legislações e decretos, a outorga possui complexidade na sua implementação e administração. Nesses ordenamentos jurídicos, não há a definição de uma metodologia específica para ser aplicada no processo de outorgas. Sendo assim, com o intuito de ajudar nesse processo, metodologias foram desenvolvidas ao longo do tempo. Como exemplo, tem-se as metodologias utilizadas para determinação da vazão máxima outorgável que são, em geral, baseadas em dois princípios: vazão referencial (onde são estabelecidos percentuais de uma vazão pré-fixada, obtidos através de séries históricas) e quantidade de falhas pré-determinadas (é fixada a quantidade de falhas de atendimento para cada nível de prioridade). Nesse contexto, determinar a vazão máxima a ser liberada para uso constitui um grande entrave no processo de outorgas no Brasil. Muitos Estados brasileiros ainda não possuem normas específicas para tal finalidade, e os que possuem, se deparam com os problemas de se estabelecer um valor (ALMEIDA e CURI, 2016; STINGHEN, C. M.; MANNICH, M., 2019).

A vazão referencial é baseada em séries históricas, e apresenta como vantagem a obtenção de maiores garantias de que não ocorrerão falhas, porque a vazão mais usual é aquela que considera uma vazão mínima que simula uma situação de escassez hídrica no reservatório. No entanto, esse tipo de vazão apresenta como desvantagem a tendência a limitar o crescimento dos usos dos recursos hídricos na maioria do tempo, pois as vazões que geralmente ocorrem nos mananciais são maiores que a vazão de referência. Ou seja, em bacias onde a oferta é maior que a demanda, essa água pode ficar subutilizada nos meses em que a vazão natural supera a fixada pelos órgãos gestores (ALMEIDA, 2016).

A metodologia utilizando a quantidade de falhas pré-determinadas, ou vazão excedente, também tem sido estudada e apresentada na literatura, como será visto ao longo deste trabalho. O critério de falhas pré-determinadas evita grandes restrições ao usuário, fixando a quantidade de falhas de atendimento para cada nível de prioridade. Esse método visa aumentar a quantidade de água disponível para outorga, entretanto, envolve uma maior complexidade, pois necessita de melhores condições para obtenção de dados do sistema de gerenciamento desses recursos e fiscalização frequente dos pontos de controle (ALMEIDA e CURI, 2016).

Além dos problemas encontrados nessas metodologias utilizadas para determinação da vazão máxima outorgável, a reservação de água em pequenos açudes influencia na diminuição da vazão regularizada. A prática da açudagem é evidenciada principalmente em áreas de grande estresse hídrico, como no caso do estado da Paraíba, local onde ocorrem altas taxas de evaporação, chuvas bastante irregulares a nível espaço-temporal e baixos índices pluviométricos, quando comparado com o resto do Brasil. Essa prática visa diminuir os impactos negativos gerados pela escassez de água, na tentativa de democratizar o acesso a esse recurso. Porém, ocorre “perda” de lâmina d’água que deixa de afluir aos reservatórios a jusante, prejudicando as projeções futuras de alocação e impactando na vazão referencial. Com mais espelhos d’água há uma diminuição na regularização e certamente um aumento das perdas por evaporação que é um problema inerente da pequena açudagem, já que não possuem capacidade de regularização interanual. Um número elevado de pequenos açudes pode até aumentar a disponibilidade hídrica de reservação da bacia, mas isso não quer dizer que irá aumentar o valor de vazão regularizada, havendo mais perdas por evaporação já que pequenos açudes possuem capacidade de regularização nula ou não significativa, pois a pequena açudagem tem caráter intranual e não regulariza (ALMEIDA J., 2016; FARIAS *et al.*, 2017; SANTOS e CURI, 2014).

Particularmente na bacia do rio Paraíba, a metodologia de outorga utilizada pelo órgão gestor AESA (Agência Executiva de Gestão das Águas) varia de acordo com a situação climática da região. Em situações de menor estresse hídrico faz-se uso da Q90, ou seja, as vazões são superiores a vazão de referência em 90% do tempo. No entanto, em cenários de escassez hídrica, a metodologia sofre alterações de acordo com a Resolução 01 de 2017, a qual estabelece restrições aos usos das águas do rio Paraíba. Dessa forma, observa-se que não existe uma avaliação contundente que abarque todo o

sistema integrado e que analise as consequências desses métodos a jusante do sistema (PARAÍBA, 1997; PARAÍBA, 2017).

Sendo assim, observa-se que as metodologias desenvolvidas ainda apresentam lacunas para que sejam aplicadas de forma eficaz para todos os tipos de sistemas hídricos, visto que existe uma complexidade inerente à natureza desse recurso e ao seu gerenciamento, o qual deve conciliar os conflitos existentes nesses sistemas. Dessa forma, para que seja possível o atendimento às necessidades hídricas de forma eficiente, de acordo com as peculiaridades de cada sistema hídrico, essa tese buscou desenvolver um processo de apoio a concessão de outorgas utilizando modelos matemáticos, podendo identificar um cenário ótimo de alocação da água para todo o tipo de demanda associados às outorgas da região.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Geral

Desenvolver uma metodologia de apoio a concessão de outorgas em sistemas hídricos controlados por reservatórios.

1.1.2 Específicos

- Aplicar a metodologia proposta na bacia hidrográfica do rio Paraíba através de um modelo de simulação baseado em rede de fluxo;
- Analisar espacialmente o sistema hídrico em estudo e verificar os reservatórios e trechos de rios mais importantes para a concessão de outorga;
- Propor cenários de operação do sistema hídrico considerando sua topologia, temporalidade dos pedidos de outorga e a disponibilidade hídrica.
- Avaliar os impactos da concessão de novas outorgas no(s) indicador(es) de desempenho de atendimento para as outorgas já concedidas e no desempenho do sistema hídrico estudado para cada cenário proposto;
- Comparar a quantidade de outorgas concedidas através da metodologia desenvolvida e a quantidade de outorgas que seriam concedidas por meio da vazão máxima outorgável.

1.2 JUSTIFICATIVA

A açudagem é uma prática adotada em todo o país com o intuito de servir para o abastecimento das populações e rebanhos, irrigação, pesca e em algumas iniciativas de lazer e turismo regional. No estado da Paraíba, de acordo com a AESA (2021), esses reservatórios são as principais fontes de água da região da bacia hidrográfica do rio Paraíba e que nas ocorrências de estiagens muitos deles entram em colapso, ocasionando conflitos pelo uso dos recursos hídricos e graves problemas de ordem social e econômica, como é o caso do açude Epitácio Pessoa no município de Boqueirão.

Exemplo desse colapso foi observado no ano de 2017, no qual o reservatório Epitácio Pessoa alcançou o nível mais baixo, com menos de 3% do seu volume total. Situações de vulnerabilidade hídrica propiciam maiores conflitos pelo uso desse recurso. Para amenizar essa situação, no mesmo ano de 2017, a transposição do rio São Francisco foi finalizada com o intuito de diminuir esses conflitos e ceder água para a referida bacia hidrográfica. No entanto, não havendo um gerenciamento eficaz dessas águas, os conflitos pelo uso continuam, o que evidencia a necessidade de uma melhor gestão das águas da bacia como, por exemplo, a maximização da eficiência das outorgas de uso dos recursos hídricos (BRITO, 2019).

O planejamento do uso e gerenciamento de sistemas hídricos é bastante complexo, como as bacias hidrográficas do estado da Paraíba, as quais estão inseridas em uma região semiárida e são responsáveis pelo abastecimento de grande parte da população. Essa preocupação aumenta quando se percebe que com o passar do tempo a demanda cresce conforme a necessidade da população, a qual está em crescente desenvolvimento social e econômico. Dessa forma, os conflitos entre os usuários dos recursos hídricos são intensificados, contribuindo para o agravamento dos efeitos das secas.

Os conflitos pelo uso da água entre usuários geralmente se agravam à medida que o estoque disponível de água se aproxima do limite outorgável, o qual geralmente é estabelecido de forma impositiva pela legislação, que se baseia em vazões de referência bastante reduzidas (SANTOS, 2010). Nesse viés, o modelo de alocação de água amplamente adotado no Brasil é a vazão referencial, em que são estabelecidos percentuais de uma vazão pré-fixada, obtidos através de séries históricas. Esse modelo acarreta prejuízos ao sistema hídrico, pois se preocupa com a manutenção de uma vazão mínima

para o corpo hídrico, sem levar em consideração o atendimento das necessidades da população com o uso da água excedente.

Na literatura encontram-se trabalhos com modelos auxiliares para tomada de decisão para outorga de uso de recursos hídricos, os quais, infelizmente, apresentam lacunas para a garantia da efetividade das metodologias abordadas. Essas lacunas se referem a utilização de vazões referenciais e de modelos de otimização sem uma visão integrada do sistema hídrico, o que dificulta a garantia dos seus resultados obtidos, como nos estudos realizados por: Ribeiro (2000), Paiva (2001), Câmara e Lanna (2002), Rodrigues (2007) e Almeida (2016).

Sendo assim, com os objetivos de amenizar os conflitos pelo uso da água, de preencher algumas lacunas encontradas na literatura e de ofertar uma ferramenta de análise eficaz para os tomadores de decisão, a proposta principal desta tese é apresentar um caminho que leve a melhorias no processo de concessão de outorgas em sistemas hídricos controlados por reservatórios.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ASPECTOS DO GERENCIAMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS

O gerenciamento dos recursos hídricos trata simplesmente de um conjunto de ações governamentais tais como leis, medidas provisórias, normas e regulamentos, destinados a administrar o armazenamento, o uso, o aproveitamento e a conservação das águas.

O termo Gerenciamento de Recursos Hídricos é relativamente novo. Vem sendo corretamente utilizado a partir do final do século XX. A princípio, muito se falava no Gerenciamento da Oferta de Água, pois ainda não havia uma percepção holística de todas as relações da água com o meio ambiente, entre os diferentes usos e usuários, dos conflitos pelo uso da água, entre outros (ZUFFO e ZUFFO, 2016).

De acordo com Poletto (2014), a água se torna um recurso a partir do momento que é usada para um determinado fim. O conflito pelo uso da água está centrado nos diferentes usos que a mesma pode proporcionar.

Diante das diversas finalidades da água, há, muitas vezes, conflitos gerados entre setores usuários. Assim, é fundamental a gestão e regulação dos recursos hídricos tornando sustentáveis as demandas econômicas, sociais e ambientais por água, com o objetivo de permitir uma relação de harmonia entre os usos atuais e futuros evitando conflitos de uso. Por isso, a outorga é essencial, pois ordenando e regularizando o uso da água é possível assegurar ao usuário o efetivo acesso a ela, bem como realizar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água (RIBEIRO *et al.*, 2014).

A questão da escassez hídrica está relacionada também a indissociabilidade entre qualidade e quantidade de água. Ainda que a quantidade seja aproximadamente a mesma ao longo do tempo, caso a qualidade seja comprometida, os custos de tratamento podem se tornar tão altos que o inviabilizem. Assim, a água se torna escassa pelo fator qualidade e não pela quantidade disponível. Dessa forma, o aumento da demanda pelos recursos hídricos, associado à diminuição da qualidade da água, conduz a um cenário de conflito pelo uso da água (POLETO, 2014).

Historicamente, os conflitos pelo uso dos recursos hídricos têm sido resolvidos com o aumento de infraestrutura para sua oferta como, por exemplo, os açudes, os quais são de suma importância para regiões onde os conflitos são potencializados pelas características climáticas da região, como no semiárido nordestino. No entanto, a construção desses reservatórios sem um controle e uma gestão eficaz, não são suficientes para minimizar os problemas de seca. Sendo assim, ao longo do tempo foi-se aperfeiçoando as políticas de gestão desses recursos para o seu melhor aproveitamento.

Esse aperfeiçoamento no Brasil foi marcado pela Lei nº 9.433/1997, que definiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SNGRH).

2.2 POLÍTICA NACIONAL DOS RECURSOS HIDRICOS

No artigo 1º da Lei 9.433/1997 estão apresentados os fundamentos da PNRH, dentre os quais:

- I- A água é um bem de domínio público;
- II- A água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;
- III- Em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais;
- IV- A gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;
- V- A bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;
- VI- A gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

A gestão dos recursos hídricos no Brasil conta com instrumentos que são basilares para a maximização da eficiência dos sistemas e conseqüentemente para a diminuição dos conflitos. Esses instrumentos previstos na Lei 9.433/97 como necessários para o gerenciamento de recursos hídricos são: (i) Plano Nacional de Recursos Hídricos - definidos no âmbito de comitês de bacia hidrográfica; (ii) Outorga do Direito de Uso dos

Recursos Hídricos - instrumento de disciplinamento pelo qual o usuário recebe uma autorização, concessão ou permissão para fazer uso da água; (iii) Cobrança pelo uso da água - instrumento necessário para o equilíbrio entre a oferta e a demanda; (iv) Enquadramento dos corpos d'água em classes de uso - manutenção da qualidade da água; (v) Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos – instrumento de apoio, responsável pela coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de informações sobre recursos hídricos.

- **Planos de Recursos Hídricos**

Os planos de recursos hídricos são planos diretores que visam orientar a implementação da gestão dos recursos hídricos que devem abranger a bacia hidrográfica com horizonte de planejamento condizente com a implantação de seus programas e projetos. O plano de bacia deve ser um processo participativo, elaborado pela agência de água responsável pela bacia, e ser obrigatoriamente aprovado pelo Comitê de Bacia, sendo posteriormente aprovado pelo Conselho de Recursos Hídricos Nacional ou Estadual, de acordo com a classificação da bacia e com os seus respectivos enquadramentos de corpos d'água.

A Lei 9.433/1997 em seu Art. 8º determina que os planos sejam elaborados para três níveis: (a) por bacias hidrográficas (Plano de Bacia Hidrográfica); (b) por estado (Plano Estadual de Recursos Hídricos) e; (c) para o País (Plano Nacional de Recursos Hídricos). O Plano Nacional e os Planos Estaduais de Recursos Hídricos baseiam-se em diretrizes e recomendações para ações estratégicas nacionais ou estaduais, enquanto nos Planos de Recursos Hídricos de Bacias Hidrográficas devem ser inseridas propostas de ações estratégicas considerando uma perspectiva regional ou local (AMÉRICO-PINHEIRO *et al.*, 2019).

De acordo com a ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2018), os Planos de Recursos são baseados na busca de soluções de compromisso, principalmente visando à minimização de conflitos pelo uso da água, considerando os múltiplos interesses dos usuários da água, do poder público e da sociedade civil organizada, bem como as múltiplas metas a serem alcançadas em um período de vigência específico, ou ainda, auxiliar na prevenção e na mitigação de eventos hidrológicos críticos, como as secas ou inundações.

- **Outorga**

O instrumento jurídico outorga, segundo a Lei nº 9.433/97, visa garantir o controle quantitativo e qualitativo do uso dos recursos hídricos, assegurando o efetivo exercício do direito de acesso à água. A competência para gerenciar os recursos hídricos e definir os critérios de outorga é do poder público, compreendendo a União ou os estados que concedem o direito de acesso às águas para aqueles que se enquadram nos dispositivos legais. Ademais, compete ao poder público fiscalizar a utilização das águas, por se tratar de bem de uso comum do povo. Dessa forma, o poder público empenha-se em não restringir o acesso à água, mas sim, garantir uma qualidade e quantidade necessária que assegure o bem-estar das gerações presentes e futuras (RODRIGUES e LEAL, 2019).

- **Cobrança**

A cobrança está interligada ao instrumento de outorga, pois como a água é um bem, dotado de valor econômico, faz-se necessário que exista esse mecanismo para racionalizar o uso da água, garantindo seu uso eficiente, além de fornecer ao usuário uma indicação de seu real valor, incentivando o uso racional da água. É importante salientar que os valores advindos dessa cobrança serão aplicados prioritariamente na bacia hidrográfica em que foram gerados. Os recursos provenientes da cobrança também podem ser usados para financiamento de estudos, programas, projetos e obras contidos nos Planos de Recursos Hídricos, podendo ser colocado a fundo perdido em projetos e obras que alterem positivamente a qualidade e quantidade dos recursos hídricos.

- **Enquadramento dos corpos d'água em classes de uso**

Alguns planos de recursos hídricos apresentam propostas de enquadramento dos corpos d'água em classes de uso. Os primeiros normativos que estabeleceram sistemas de classificação dos corpos d'água antecedem a Política Nacional de Recursos Hídricos (1997) e, atualmente, as principais regulamentações vigentes no nível federal que disciplinam sobre o enquadramento são resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). O enquadramento estabelece metas de qualidade de água para atender aos seus usos preponderantes, as quais devem ser aprovadas pelo Conselho de Recursos Hídricos

competente (das UFs ou o Conselho Nacional), conforme a dominialidade do corpo d'água (ANA, 2018).

De acordo com a PNRH, o enquadramento dos corpos de água em classes, devem:

- I- Assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas;
- II- Diminuir os custos de combate à poluição das águas, mediante ações preventivas permanentes.

Essas classes, são determinadas de acordo com a classificação estabelecida pela Resolução nº 357/2005 do CONAMA, as quais variam da classe especial (de melhor qualidade) à classe 4, a qual só pode ser destinada para navegação e harmonia paisagística. Nesse contexto, o enquadramento não é apenas um diagnóstico da atual situação de determinado corpo hídrico, mas principalmente uma forma de obtenção de metas para esse tipo de classificação e de propostas de intervenção para a melhoria desse recurso.

- **Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos (SIRH)**

Os Sistemas de Informação sobre Recursos Hídricos (SIRH) são instrumentos fundamentais para a obtenção de informações básicas sobre as águas superficiais, águas subterrâneas, dados hidrológicos, leis, decretos e normas relacionados aos recursos hídricos permitindo e facilitando o acesso a todos que precisarem de informações para o desenvolvimento de suas atividades. Esse instrumento quando faz parte de um modelo de gestão que se baseia na participação da sociedade torna-se mais importante, pois a propagação de informações confiáveis é essencial para a tomada de decisões seguras pela organização civil, usuários e poder público (ANA, 2016).

Segundo a Lei 9.433/1997, o Sistema de Recursos Hídricos é estabelecido como um sistema de coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de informações sobre recursos hídricos e fatores intervenientes em sua gestão. Com isso, os dados que forem gerados pelos órgãos integrantes do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos são incluídos no Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos.

De acordo com ANA (2016), os SIRH contribuem na prevenção e na solução de conflitos e problemas relacionados à água em uma bacia hidrográfica. Esse instrumento

é a base que reúne e sistematiza os dados que devem apoiar os processos de tomada de decisão necessários para a gestão integrada dos recursos hídricos.

2.3 SISTEMA NACIONAL DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS (SINGERH)

Para que todos esses instrumentos sejam implementados e satisfaçam os seus objetivos, faz-se necessário que sistemas de gerenciamento estejam organizados em prol da maximização da eficiência do uso da água, como as agências de água e os comitês de bacias, os quais estão integrados ao Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGERH).

O SINGERH é composto por: Conselho Nacional de Recursos Hídricos; Agência Nacional de Águas (ANA); Conselhos Estaduais e do Distrito Federal de Recursos Hídricos; Comitês de bacia hidrográfica; Órgãos dos poderes públicos federais, estaduais, do Distrito Federal e municipais; e as Agências de água.

Os objetivos do sistema são: coordenar a gestão integrada das águas; arbitrar administrativamente os conflitos relacionados com os recursos hídricos; implementar a Política Nacional de Recursos Hídricos; planejar, regular e controlar o uso, a preservação e a recuperação dos recursos hídricos; e, promover a cobrança pelo uso de recursos hídricos.

Com relação a ANA, ela foi criada em 17 de julho de 2000, com a promulgação da Lei Federal nº 9.984, sendo esta uma autarquia federal com autonomia administrativa e financeira, vinculada ao Ministério do Meio Ambiente, e com o objetivo de implementar a PNRH e coordenar o SINGERH.

Pode-se dizer que a ANA é um órgão executor e regulador, visto que implementa a política nacional de gerenciamento e fiscaliza o uso dos recursos hídricos, controla a oferta e demanda, e autoriza através do instrumento de outorga o uso da água em corpos de domínio da União.

Já as agências de água são unidades executivas que servem de apoio aos seus respectivos Comitês de Bacia Hidrográfica. Um exemplo dessas agências, encontra-se no

estado da Paraíba, e é conhecida como AESA (Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba), criada a partir da Lei Estadual nº 7.779 de 2005.

Um comitê de bacia hidrográfica é um órgão colegiado em que sua criação, de acordo com Almeida (2016), representa um significativo marco para o exercício de uma gestão descentralizada dos recursos hídricos, pois propõem uma estrutura inovadora na realidade institucional brasileira, sendo constituídos por representantes dos usuários de água, entidades civis e pelo poder público (federal, estadual e municipal). A composição dos comitês sob jurisdição federal foi definida pela Resolução n.º 5 do CNRH da seguinte maneira: membros dos Poderes Executivos da união, estados, Distrito Federal e municípios – máximo de 40%; usuários de água – máximo de 40% e sociedade civil – mínimo de 20%. Os comitês estaduais seguem as regras específicas das legislações estaduais.

As atribuições do comitê de bacia são descritas no artigo 38 da Lei 9.433/97. Dentre elas, pode-se citar: arbitrar, em primeira instância administrativa, os conflitos relacionados aos recursos hídricos; aprovar o Plano de Recursos Hídricos da bacia; estabelecer os mecanismos de cobrança pelo uso de recursos hídricos e sugerir os valores a serem cobrados. Além disso, possui o papel decisório na implantação de instrumentos de planejamento e gestão dos recursos hídricos.

2.4 OUTORGA DE DIREITO DE USO DE ÁGUA NO BRASIL

No Brasil o objeto de outorga foi adotado como instrumento de garantia da qualidade e quantidade de água e como forma de disciplinamento dos seus usos, evitando ou equacionando situações de conflitos (SANTILLI, 2007). Constitui-se, portanto, em um instrumento de fundamental importância para o gerenciamento dos Recursos Hídricos.

Dessa forma, a outorga é definida como a concessão do direito de uso dos recursos hídricos a entes públicos ou privados por períodos estabelecidos e renováveis. Assim, cabe ao Poder Público, estadual ou federal, a responsabilidade pela sua gestão. Ou seja, qualquer intervenção que seja necessária em determinado corpo hídrico, é preciso que haja permissão por parte dos órgãos públicos responsáveis, e essa autorização é denominada Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos.

A outorga desponta como um dos instrumentos de maior importância para a viabilização dos fundamentos e dos objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos. Prova disso é que, de todos os instrumentos da referida política, esse é o único previsto expressamente pela Constituição Federal. Ou seja, é um instrumento com amplo amparo legal e que dá ao outorgado plenas garantias de direito de acesso e de uso de recursos hídricos (REIS *et al.*, 2019).

A outorga se aplica para quaisquer usos, fins, ou atividade que altere a qualidade e a quantidade do corpo hídrico, tanto superficial como subterrânea. No Brasil, cada órgão gestor estadual tem autonomia para estabelecer os critérios e limites quanto a insignificância dos diferentes tipos de uso que o dispensam da outorga. Desta forma, as vazões de referência para as análises dos processos de outorgas bem como os limites definidos para concessão da dispensa de outorga variam entre os estados da Federação (STINGHEN e MANNICH, 2019).

2.4.1 Legislação Federal

A Lei nº 9.433/97 estabeleceu como um de seus instrumentos (Art. 5º, III) a Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos, a qual constitui o elemento central de controle dos recursos hídricos e indutor do ordenamento dos usos.

De acordo com essa legislação, em seu artigo 11, a outorga de direitos de usos dos recursos hídricos tem como objetivos assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água.

O artigo 12 descreve quais são os direitos dos usos dos recursos hídricos que estão sujeitos a outorga pelo Poder Público, que são: derivação ou captação de parcela da água existente em um corpo de água para consumo final, inclusive abastecimento público, ou insumo de processo produtivo; extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo; lançamento em corpo de água de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final; aproveitamentos dos potenciais hidrelétricos; e outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo de água.

Já o §1º do artigo 12, estabelece que algumas formas de uso da água podem ser consideradas insignificantes, tirando, com isso, a obrigatoriedade da outorga, mas não a responsabilidade de computá-las e quantificá-las nos balanços quali-quantitativos, pois um conjunto de usos insignificantes pode tornar-se significativo. Exemplo desses usos são: o uso de recursos hídricos para a satisfação das necessidades de pequenos núcleos populacionais, distribuídos no meio rural; as derivações, captações e os lançamentos considerados insignificantes; as acumulações de volumes de água consideradas insignificantes.

Segundo ANA (2019), os tipos de usos da água a serem outorgados e os que podem ser dispensados de outorga – os considerados como insignificantes – variam conforme o corpo hídrico e o órgão gestor. Os usos insignificantes são determinados quando a vazão de água utilizada é menor que aquela definida em legislação como o volume mínimo para se exigir a solicitação da outorga por parte do usuário. Os usos insignificantes variam conforme o corpo hídrico, e correspondem às retiradas ou lançamentos até determinado limite, que não influenciam na disponibilidade hídrica para outros usuários. Em corpos hídricos de domínio da União foram determinados pela Resolução ANA nº 1.175 de 2013. Os usos insignificantes em corpos d'água estaduais variam segundo critérios dos respectivos órgãos gestores.

A outorga é um ato administrativo e, conforme o disposto no artigo 13, ela deverá preservar o uso múltiplo dos recursos hídricos, bem como estará condicionada às prioridades de uso estabelecidas nos Planos de Recursos Hídricos. Deverá respeitar a classe em que o corpo de água estiver enquadrado e a manutenção de condições adequadas ao transporte aquaviário, quando for o caso. É importante lembrar que a execução deste se dá sob a competência do Poder Executivo Federal (Agência de Águas e Saneamento – ANA), dos estados ou do Distrito Federal, sendo que o Poder Executivo Federal poderá delegar aos dois últimos a competência para conceder outorga de direito de uso por prazo determinado, não excedente a 35 anos, renovável, nos termos e nas condições expressas no respectivo ato (ZUFFO E ZUFFO, 2016).

Como a água não é alienável, de acordo com o artigo 15, a outorga poderá ser suspensa, parcial ou totalmente, em definitivo ou por prazo determinado, nas seguintes situações: não cumprimento pelo outorgado dos termos da outorga; ausência de uso por três anos consecutivos; necessidade premente de água para atender as situações de calamidade, inclusive as decorrentes de condições climáticas adversas; necessidade de se

prevenir ou reverter grave degradação ambiental; necessidade de se atender aos usos prioritários (consumo humano e dessedentação animal), de interesse coletivo, para os quais não se disponha de fontes alternativas; necessidade de serem mantidas as características de navegabilidade do corpo de água.

A outorga também é considerada um instrumento de fiscalização do poder público quanto ao uso dos recursos hídricos, sendo assim, de acordo com o artigo 49 da Lei 9.433/1997, que qualifica as condutas consideradas infrações quanto ao uso dos recursos hídricos, têm-se:

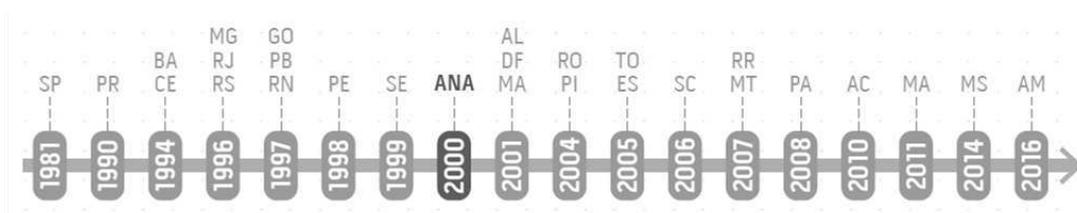
- Derivar ou utilizar recursos hídricos para qualquer finalidade, sem a respectiva outorga de direito de uso;
- Iniciar a implantação ou implantar empreendimento relacionado com a derivação ou a utilização de recursos hídricos, superficiais ou subterrâneos, que implique na alteração do regime, quantidade ou qualidade dos mesmos, sem autorização dos órgãos competentes;
- Utilizar os recursos hídricos ou executar obras ou serviços relacionados com os mesmos em desacordo com as condições estabelecidas na outorga;
- Perfurar poços para extração de água subterrânea ou operá-los sem a devida autorização;
- Fraudar as medições dos volumes de água utilizados ou declarar valores diferentes dos medidos;
- Infringir normas estabelecidas na lei ou em regulamentos administrativos, compreendendo instruções e procedimentos fixados pelos órgãos ou entidades competentes;
- Obstar ou dificultar a ação fiscalizadora das autoridades competentes no exercício de suas funções.

2.4.2 Outorga no Estado da Paraíba

O Estado da Paraíba iniciou a regulamentação de outorgas de direito de uso dos recursos hídricos estaduais a partir do ano de 1997 (Figura 1), relacionando-se ao

estabelecimento do Decreto nº 19.260 de 1997, que regulamenta o instrumento de outorga no estado da Paraíba.

Figura 1 - Início da regulamentação do instrumento de outorga nos estados e na ANA



Fonte: ANA (2019)

Esse decreto estabelece os seguintes condicionantes para a outorga: disponibilidade hídrica; prioridades de uso para abastecimento humano e animal; comprovação de que o uso da água não causa poluição ou desperdício dos recursos hídricos; volume máximo outorgável não superior a 9/10 da vazão regularizada anual com 90% de garantia em bacias controladas por reservatório; não se exigirá outorga de direito de uso de água na hipótese de captação direta na fonte, superficial ou subterrânea, cujo consumo não exceda de 2.000 l/h (dois mil litros por hora) – usos insignificantes - previstos no artigo 7.

De acordo com o artigo 12 do referido decreto, a outorga do direito de uso da água é deferida na seguinte ordem:

- I- abastecimento doméstico, assim entendido o resultante de um serviço específico de fornecimento da água, excluídas, portanto, as hipóteses do Art. 8º;
- II- abastecimento coletivo especial, compreendendo hospitais, quartéis, presídios, colégios, etc.;
- III- outros abastecimentos coletivos de cidades, distritos, povoados e demais núcleos habitacionais, de caráter não residencial, compreendendo abastecimento de entidades públicas, do comércio e da indústria, ligados à rede urbana;
- IV- o uso da água, mediante captação direta para fins industriais, comerciais e de prestação de serviços;

V- o uso da água, mediante captação direta ou por infra-estrutura de abastecimento para fins agrícolas, compreendendo irrigação, pecuária, piscicultura, etc.;

VI- outros usos permitidos pela legislação em vigor.

Quanto às modalidades da outorga no estado da Paraíba, o Decreto nº 19.260/97, define os seguintes: a cessão de uso, a autorização de uso e a concessão de uso. A cessão de uso é conferida ao órgão ou entidade pública, a título gratuito ou oneroso, enquanto que a autorização de uso confere a particular, pessoa física ou jurídica o direito de uso das águas, em condições explícitas, em caráter unilateral precário. Já a concessão de uso, consiste na outorga de caráter contratual, permanente e privativo, de uma parcela de recursos hídricos, por pessoa física ou jurídica, que dela faça uso (ALMEIDA, 2016).

No Quadro 1 estão apresentados alguns artigos do Decreto nº 19.260 que tratam do instrumento da outorga.

Quadro 1 - Considerações apresentadas no Decreto 19.260/97

ARTIGO 6	
Usos que dependem da outorga	I – derivação ou captação de parcela de recursos hídricos existentes em um corpo d'água, para consumo final ou para insumo de processo produtivo;
	II – lançamento em um corpo d'água de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos com o fim de sua diluição, transporte e assimilação de esgotos urbanos e industriais;
	III – qualquer outro tipo de uso que altere o regime, a quantidade e a qualidade da água.
ARTIGO 7	
Usos independentes de outorga	I – não se exigirá outorga de direito de uso de água na hipótese de captação direta na fonte, superficial ou subterrânea, cujo consumo não exceda de 2.000 l/h (dois mil litros por hora).
ARTIGO 8	
Não concessão da outorga	I – lançamento na água de resíduos sólidos, radioativos, metais pesados e outros resíduos tóxicos perigosos;
	II – lançamento de poluentes nas águas subterrâneas.
ARTIGO 12	
Prioridade de uso para outorga	I – abastecimento doméstico;
	II – abastecimento coletivo especial, compreendendo hospitais, quartéis, presídios, colégios, etc;
	III – outros abastecimentos coletivos de cidades, distritos, povoados e demais núcleos habitacionais, de caráter não residencial

	(entidades públicas, do comércio e da indústria, ligados à rede urbana);
	IV – o uso da água, mediante captação direta para fins industriais, comerciais e de prestação de serviços;
	V – o uso da água, mediante captação direta ou por infraestrutura de abastecimento para fins agrícolas, compreendendo irrigação, pecuária, piscicultura, etc;
	VI – outros usos permitidos pela legislação em vigor.
ARTIGO 17	
Possibilidades de extinção da outorga	I – abandono e renúncia, de forma expressa ou tácita;
	II – inadimplemento de condições legais, regulamentares ou contratuais;
	III – caducidade;
	IV – uso prejudicial da água, inclusive poluição e salinização;
	V – dissolução, insolvência ou encampação do usuário, pessoa jurídica;
	VI – morte do usuário, pessoa física;
	VII – quando for considerado uso inadequado para atender aos compromissos com as finalidades sociais e econômicas.
ARTIGO 18	
Prazo de vigência da outorga	Será de 10 (dez) anos o prazo máximo de vigência da outorga de direito de uso da água, podendo ser renovado.
ARTIGO 26	
Valor máximo outorgável para mananciais superficiais	A soma dos volumes de água outorgados numa determinada bacia não poderá exceder 9/10 (nove décimos) da vazão regularizada anual com 90% (noventa por cento) de garantia. Tratando-se de lagos territoriais ou de lagoas, o limite previsto no "caput" deste artigo será reduzido em 1/3 (um terço).
ARTIGO 27	
Valor fixado para mananciais subterrâneos	A base quantitativa para outorga do direito de uso sobre águas subterrâneas será considerada a partir de 2.000 l/h.

Fonte: Paraíba (1997)

2.5 CRITÉRIOS DE OUTORGA

As formas de se alocar quantitativamente a água entre os usuários podem ser separadas em, pelo menos, dois grupos, de acordo com a literatura: vazão referencial e quantidade de falhas pré-determinadas. Esses tipos de outorga serão analisados a seguir.

2.5.1 Vazão referencial

Determinar a vazão máxima a ser liberada para uso constitui um grande entrave no processo de outorgas no Brasil. Muitos estados brasileiros ainda não possuem normas específicas para tal finalidade, e os que possuem, se deparam com os problemas de se estabelecer um valor. Sendo assim, acabam estabelecendo um percentual dessa vazão (vazão de referência ou referencial) que se torna o limite máximo de uso de determinado sistema hídrico, ou seja, sua máxima vazão outorgável.

A vazão referencial é baseada em séries históricas, e apresenta como vantagem a obtenção de maiores garantias de que não ocorrerão falhas, porque a vazão mais usual é aquela que considera uma vazão mínima que simula uma situação de escassez hídrica no reservatório. Exemplos de vazão de referência são: Q7,10 (média das vazões de sete dias consecutivos de estiagem com período de retorno de 10 anos); a Q90 (vazão com probabilidade de superação de 90%), definida através da estimativa da curva de permanência das vazões naturais; a Q85 e a Q95 (vazões com probabilidade de superação de 85% e 95%, respectivamente), e a QR90 (Vazão regularizada com 90% de garantia).

No entanto, esse tipo de vazão apresenta como desvantagem a tendência a limitar o crescimento dos usos dos recursos hídricos na maioria do tempo, pois as vazões que geralmente ocorrem nos mananciais são maiores que a vazão de referência. Assim, em bacias onde a demanda é maior que a oferta, essa água pode ficar subutilizada nos meses em que a vazão natural supera a fixada pelos órgãos gestores. Esse cenário é potencializado em áreas como o semiárido nordestino, o qual já possui entraves naturais ao acesso aos recursos em quantidade suficiente, gerando assim, mais conflitos pelo uso de água, principalmente quando se refere às áreas de irrigação.

Alguns trabalhos acadêmicos usando o critério de vazão de referência são:

- Ribeiro (2000) baseando-se na Q90, comparou a vazão máxima outorgável para a bacia do rio Pirapama-PE, através de valores de vazão de referência anual e com variabilidade mensal. Nos seus resultados, foi concluído que a vazão referencial mensal permitiu uma melhor caracterização do regime hidrográfico do que a vazão anual, a qual limita o uso da água superiormente em um único valor para todo o ano.

- Paiva (2001) utilizou-se da Q90 para simular um sistema de outorga na bacia do rio Gramame-PB. Através das simulações realizadas pela autora, os resultados mostraram um elevado percentual de falhas de atendimento à demanda em vários pontos de controle ao longo da bacia, destacando o problema na utilização da metodologia de vazão referencial, a qual limitou o uso do recurso hídrico disponível na bacia.
- Câmara e Lanna (2002) usaram a bacia do rio Gramame – PB na metodologia de estudo, e estabeleceram dois valores diferenciados de vazão máxima outorgável, um para o período chuvoso e outro para o período seco. Entretanto, apesar de esse critério mostrar-se mais eficiente que o uso de uma única vazão de referência, só pode ser utilizado em regiões com estações secas e chuvosas bem definidas.
- Rodrigues (2007), através do Acquanet avaliou alguns critérios para estabelecimento da vazão máxima outorgável. Primeiramente foi analisado o critério da vazão regularizada com 90% de garantia, concluindo-se que o Acquanet não assegurava que as garantias de atendimento às demandas prioritárias fossem constantes, e, portanto, não conseguia convergir para uma solução viável. Com isso, o estudo convergiu para um modelo de otimização, embora o mesmo não analisou o sistema hídrico de forma integrada.
- Collishonn (2014) em seu trabalho fornece indicadores de comprometimento, que expressam em que medida o usuário se apropria da vazão de referência (indicador de comprometimento individual) e em que medida o conjunto de usuários já compromete esta vazão (indicador de comprometimento coletivo). Estima-se a vazão de referência local sendo possível calcular o indicador de comprometimento individual. Após isso, são somadas as vazões outorgadas aos usuários a montante e procede o cálculo do indicador de comprometimento coletivo. O cálculo desses indicadores somente expressa a situação da bacia a montante da nova demanda, porém não identifica eventuais conflitos que possam ocorrer a jusante. Este trabalho foi desenvolvido em MATLAB, onde após a inserção dos dados de cada usuário, sua vazão é somada às demandas acumuladas dos trechos afetados a jusante, não sendo mais possível avaliar a vazão alocada a cada usuário individualmente. Sendo assim, essa abordagem leva a algumas dificuldades como, por exemplo, na revogação e alteração de outorgas, uma vez que não é possível retirar um usuário individual do balanço hídrico.

- Moreira *et al.* (2015), analisaram alternativas de critérios de outorga que consideraram a sazonalidade anual das vazões. Os efeitos quantitativos da adoção de períodos sazonais foram analisados em comparação ao período anual das vazões de referência Q7,10, Q90 e Q95, a fim de se quantificar as diferenças relativas da disponibilidade hídrica entre as vazões de referência adotadas para fins de outorga de uso de água. Com os resultados obtidos, observou-se que em períodos de seca a redução da disponibilidade hídrica foi de até 24,5%. Na análise da Q7,10, os resultados mostraram que a aplicação de critérios sazonais pode propiciar aumento de até 126% na quantidade de água disponível para outorga nos períodos de maior disponibilidade hídrica. Já para as vazões associadas às permanências de 90% (Q90) e 95% (Q95), foram registrados aumentos de até 99% no período chuvoso, porém, no período seco a redução da disponibilidade hídrica foi de até 24,5% em comparação com o período anual.
- Novo e Hora (2019), definiram as curvas-chave e as séries de vazões diárias das estações fluviométricas inseridas na bacia hidrográfica do rio Guapi-Macacu no estado do Rio de Janeiro. Com base nos resultados, propuseram a adoção de uma nova vazão máxima outorgável, pois verificaram que se outorga mais água do que se tem disponível, agravando a situação de escassez hídrica na região.

2.5.2 Critério de falhas pré-determinadas

A metodologia utilizando a quantidade de falhas pré-determinadas, ou vazão excedente, também tem sido estudada e apresentada na literatura.

O critério de falhas pré-determinadas evita grandes restrições ao usuário, fixando a quantidade de falhas de atendimento para cada nível de prioridade. No critério da vazão referencial são estabelecidos percentuais de uma vazão pré-fixada, obtida através de séries históricas, que são disponibilizados para outorga. Desta forma, a vazão de referência é considerada a vazão máxima outorgável sazonalmente. A vantagem de se usar o critério da vazão referencial é que se obtêm maiores garantias de que não ocorrerão falhas, pois a vazão de referência mais utilizada é uma vazão mínima que caracteriza uma condição de escassez hídrica no manancial (ALMEIDA e CURI, 2016).

Dentro desta linha, destaca-se o seguinte trabalho:

- Pereira e Lanna (1996) estabelecem que a vazão excedente ao atendimento das demandas prioritárias é distribuída entre aquelas de menor prioridade. Se ocorrerem falhas no atendimento à essas demandas, os usos menos prioritários serão primeiramente atingidos. Apesar de aumentar a vazão disponível para outorga, esse método tem a desvantagem de ter implementação complexa, pois necessita de um frequente monitoramento dos pontos de controle durante os períodos de escassez de água quando algumas outorgas estiverem suspensas.

2.6 SISTEMAS DE SUPORTE A DECISÃO (SSD)

Atualmente a temática relacionada à gestão de recursos hídricos em contextos de escassez tem se ampliado e influenciado os mais diversos setores da sociedade. Pelo que se percebe tal ampliação tem se propagado em diversos países do mundo. Neste sentido a tomada de decisão adquire uma conotação cada vez mais delicada, uma vez que se lida com pressões por vezes concorrentes (KALBUS *et al.*, 2013 *apud* SILVA *et al.*, 2019).

Em meio a esta realidade percebe-se a necessidade de uma análise que possa contemplar os mais diversos critérios possíveis presentes em um ambiente complexo (MORIN, 2014 *apud* SILVA *et al.*, 2019).

Os métodos de tomada de decisão são cada vez mais implementados devido ao desenvolvimento econômico contínuo, que gera problemas de tomada de decisão cada vez mais complexos. Os processos de tomada de decisão incluem análise comparativa multidimensional (MCA) ou métodos de suporte à decisão multicritério (MCDS). A implementação de métodos de tomada de decisão facilita significativamente a seleção da melhor opção (por meio de MCDS) ou a realização de análises comparativas (por meio de MCA). Os métodos MCDS são comumente usados para tomar decisões e resolver problemas de sustentabilidade. O método de tomada de decisão multicritério é baseado na análise de muitas opções de decisão e avaliações diferentes, e apoia a resolução de problemas complexos de tomada de decisão, incluindo seus aspectos ambientais, econômicos, ecológicos, sociais, de construção e tecnológicos (DACHOWSKI e GALEK, 2020).

Sendo assim, na busca de soluções para os complexos problemas de planejamento e gestão dos recursos hídricos, lança-se mão de utilização de técnicas e ferramentas

capazes de auxiliarem nos processos de análise, operação, planejamento e tomadas de decisão em sistemas de recursos hídricos. Os estudos de alternativas operacionais, em sistemas de recursos hídricos, são comumente feitos através de aplicação de complexas metodologias matemáticas e computacionais, incluindo técnicas de otimização e simulação (YEH, 1985; SIMONOVIC, 1992; WURBS, 1993 e LABADIE, 2004).

Desta forma, os modelos matemáticos, tanto a simulação quanto a otimização, são de fundamental importância para a gestão dos recursos hídricos, sendo indispensável o uso dessas ferramentas para maximizar a eficiência dos usos múltiplos deste recurso, melhorando assim a segurança hídrica de todo um sistema.

Diante dessa situação, a adoção de um planejamento ótimo, com o uso de técnicas de simulação e otimização se fazem necessárias para utilizar água de forma eficiente, principalmente nos setores que consomem grandes volumes de água. Essas medidas se forem planejadas corretamente irão promover a modernização e a utilização racional da água, trabalhando com eficiência, sem prejudicar sua produção e nem causar impactos, de forma negativa, ao meio ambiente (PESSOA *et al.*, 2016).

2.6.1 Simulação

A realização de estudos de simulação antes da implantação de um sistema real é de grande relevância, permitindo, por exemplo, a aceleração do funcionamento do sistema no tempo, previsão de acidentes que possam ocorrer quando da implantação de um sistema real, além de poupar recursos econômicos, pois dispensa a construção de protótipos para testes. Devido a sua grande versatilidade e flexibilidade, a simulação é largamente utilizada em operações técnicas e atividades de pesquisa. Algumas das muitas áreas de aplicação da simulação são: sistemas de computação, sistemas de manufatura, negócios, entidades governamentais, ecologia e meio - ambiente, sociedade e biociências (LOBÃO e PORTO, 1999; COSTA, 2002; NEPOMUCENO, 2018).

Para Salla *et al.* (2014), com a crescente necessidade de um planejamento e de um gerenciamento dos recursos hídricos adequados a nível de bacia hidrográfica, fez com que os modelos de simulação fossem cada vez mais aprimorados, aumentando consequentemente a complexidade matemática.

A simulação tem como principal característica a flexibilidade, sendo esta considerada uma das principais vantagens, pois permite que todas as características de um sistema sejam representadas por uma descrição matemática mais detalhada devido ao requerimento de se resolver um sistema de equações associado a um instante de tempo de cada vez. Por isso, a simulação é considerada míope, ou seja, as decisões são baseadas no estado das variáveis no presente, sem levar em consideração o que ocorre no futuro (SANTOS, 2011).

Apesar da maioria dos modelos, em especial os de simulações, serem bastantes versáteis e difundidos, não conseguiram, ainda, incorporar características como as não linearidades dos processos hidráulicos e operacionais e o caráter multiobjetivo que considerem os aspectos qualitativos e quantitativos dos recursos hídricos numa mesma função objetivo (VIEIRA e CURI, 2016).

2.6.1.1 Aplicações da simulação

A seguir estão apresentados estudos utilizando a simulação para planejamento de recursos hídricos:

- Farias et al. (2017), utilizou a simulação por meio do software Acquanet para analisar as perdas de água na distribuição do Projeto de Integração do Rio São Francisco pelo Eixo Leste. Analisou cenários de distribuição de água em termos de perdas de água, os quais foram simulados com o modelo Acquanet. Os resultados mostraram que a construção de dutos reduzirá as perdas de água e aumentará o ganho social, através do aumento da população beneficiada.
- Lucena (2018) utiliza a simulação, por meio do software AcquaNet, como ferramenta de apoio a tomada de decisão na operação de reservatórios e analisa como medidas de gestão podem afetar situações de racionamento e crise hídrica.
- Nepomuceno (2018) propôs o desenvolvimento e aplicação de um modelo para simulação de nitrogênio e fósforo em sistemas de recursos hídricos, que permite simular a interação de rios, reservatórios e áreas agrícolas em termos desses parâmetros de qualidade de água.

- Fadaeizadeh et al. (2019), utilizaram o modelo de simulação MODSIM para A alocação ótima de recursos hídricos através da quantificação das demandas agrícolas na Bacia do Rio Atrak no Irã.
- Arami Shamasbi et al. (2022), fizeram uso do modelo de planejamento de recursos hídricos MODSIM, investigando o efeito de diferentes cenários de gestão em condições de escassez de água no planejamento de alocação hídrica na bacia do rio Balekhlichai e também no nível de água do aquífero da planície Ardabil – Irã.
- Bettencourt *et al.* (2022), no âmbito dos crescentes conflitos por recursos hídricos na Bacia do Rio São Francisco, aplicaram balanços hídricos superficiais e subterrâneos para a situação atual e para três cenários prospectivos de demanda hídrica (um pessimista, um otimista e um equilibrado) referentes a 2025 e 2035, considerando os múltiplos usos da bacia. Para o balanço hídrico superficial, foi utilizado o Sistema de Apoio à Decisão AcquaNet.

2.6.2 Otimização

A otimização, assim como a simulação, é uma ferramenta computacional que auxilia no processo de tomada de decisão na gestão de recursos hídricos. Os modelos de otimização são usados para encontrar a solução ótima que atenda a um objetivo determinado. A otimização permite que a solução ótima do sistema seja encontrada avaliando os valores definidos para as variáveis de decisão, maximizando ou minimizando a função objetivo (FO) que é sujeita a restrições.

Modelos de otimização almejam o encontro de uma solução ou configuração do modelo que possa atender plenamente a determinados critérios, denominados de critérios de otimização. De maneira geral, modelos de otimização checam situações em que existem diversas e diferentes possíveis formulações para o modelo. O grau de complexidade de problemas de otimização tende a aumentar quanto maior for o número de configurações e de critérios a examinar em um problema (GOLDBARG et al., 2015).

Os modelos de otimização aplicam-se aos casos em que interessa saber qual é a alternativa operacional ótima do sistema e são aplicados, preferencialmente, para um pequeno intervalo de tempo (depende do número de equações necessárias para descrever cada estado e da discretização temporal utilizada). Estes modelos utilizam algoritmos para

selecionar, sistematicamente, soluções ótimas, procurando satisfazer uma função objetivo e restrições operacionais. Não existe, porém, um procedimento de otimização que possa resolver eficientemente qualquer tipo de problema. A escolha do modelo de otimização vai depender da forma, quantidade e propriedades matemáticas da função objetivo e das restrições (VIEIRA e CURI, 2016).

Em geral, o modelo de otimização é composto por uma função objetivo $F(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n)$, que se deseja maximizar ou minimizar, onde $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ são as variáveis de decisão do problema. Além da função objetivo, existem também as funções de restrição $g_i(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n)$, $i = 1, 2, 3, \dots, m$, que passam a determinar a região viável das variáveis de decisão. Entre as soluções viáveis, a que satisfaz as restrições do problema e garante o melhor valor da função objetivo é chamada de solução ótima (PIZZOLATO e GANDOLPHO, 2013).

2.6.2.1 Aplicações da otimização

A seguir estão apresentados estudos utilizando a otimização para planejamento de recursos hídricos:

- Almeida (2016) utilizou o modelo de otimização, desenvolvido por Curi et al. (2011), para integrar os instrumentos de outorga e cobrança sob a vista de uma análise multicriterial.
- Silva Neto (2018) desenvolveu um modelo de cobrança pelo uso dos recursos hídricos em sistemas de recursos hídricos controlados por reservatórios, por meio do modelo de otimização multiobjetivo desenvolvido por Santos (2011).
- Brito (2019) utilizou o modelo de otimização multiobjetivo desenvolvido por Santos (2011) para analisar o comportamento das perdas de água em trânsito no Rio Paraíba e por evaporação nos quatro reservatórios em série, que são receptores da vazão exógena do PISF, e calculou os custos das perdas hídricas para cada cenário proposto.

- Grith Martinsen et al. (2019), utilizaram um modelo de otimização linear multi-reservatório, multitemporal e multiobjetivo para alocação conjunta de água e para a gestão da qualidade dos recursos hídricos.
- Jiang Li et al. (2021), desenvolveram um modelo de otimização para alocação espaço-temporal de água para irrigação em regiões semiáridas, visando maximizar a eficiência da irrigação e do uso da precipitação.

2.6.3 Indicadores de desempenho para sistemas de recursos hídricos

Os estudos de recursos hídricos usam uma grande quantidade de dados, o que torna a avaliação das propostas de gerenciamento uma tarefa muito difícil. Para isso, é necessário criar parâmetros de avaliação que retenham apenas os dados essenciais, chamados de indicadores de desempenho de atendimento das demandas e os índices de eficiências de bacias hidrográficas (FARIAS *et al.*, 2017).

Tais índices e indicadores, são bastante utilizados para comparar cenários de demanda hídrica em diferentes formas de distribuição de água. Por eles, é possível determinar que cenários obtiveram os melhores resultados quanto à alocação ótima dos recursos hídricos, possibilitando o dimensionamento dos rendimentos hídricos de cada cenário.

Indicadores de desempenho de atendimento às demandas

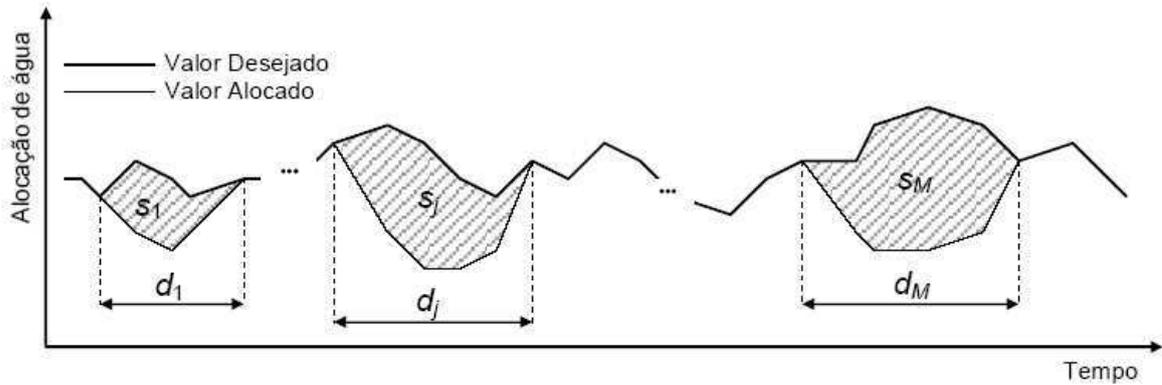
A operação de sistemas de recursos hídricos compostos por reservatórios, associada à incerteza no que concerne às condições hidroclimáticas a que o mesmo está sujeito, podem levar à ocorrência de falhas no atendimento das demandas hídricas (ABRANTES, 2021; COSTA NETO, 2020; BRITO, 2019).

As falhas decorrentes da operação de sistemas de reservatórios são praticamente inevitáveis durante períodos hidrológicos críticos. As falhas, vistas sob vários aspectos, podem ser representadas pelos seguintes indicadores de desempenho: confiabilidade, resiliência e vulnerabilidade. Esses três indicadores, juntos, podem ser usados para caracterizar o “risco” a que estão sujeitos a operação e o planejamento de um dado sistema hídrico (CELESTE, 2006).

Tais índices foram propostos por Hashimoto *et al.* (1982) e fornecem meios de avaliar os efeitos das várias regras de operação, além de auxiliar na avaliação de futuros projetos a serem implantados (VIANNA E LANNA, 2002).

Seja $D_{t,i}$ a i -ésima demanda do sistema hídrico e $Q_{t,i}$ os volumes fornecidos para o atendimento da demanda $D_{t,i}$ no horizonte de $t = 1, \dots, NT$. Separam-se os valores satisfatórios S dos insatisfatórios I de modo que uma falha ocorra quando $Q_{t,i} < D_{t,i}$. Seja NF_i o número total de intervalos de tempo no qual $Q_{t,i} < D_{t,i}$ e seja $d_{i,j}$ a duração j -ésimo evento de falhas, $j = 1, \dots, M_i$, onde M_i é o número de eventos insatisfatórios da i -ésima demanda do sistema (Figura 2).

Figura 2 - Duração e volumes de déficit em períodos de falha



Fonte: Celeste *et al.* (2005)

Confiabilidade

A Confiabilidade (*Conf_i*) da demanda i é a probabilidade de a série temporal permanecer em estado satisfatório S durante o horizonte de operação, ou seja, a percentagem do tempo em que o sistema funciona sem falhas:

$$Conf_i = Prob\{Q_{t,i} \in S\} = Prob\{Q_{t,i} \geq D_{t,i}\} = 1 - \frac{NF_i}{NT} \quad (1)$$

A Confiabilidade pode ser entendida como a capacidade de o sistema hídrico operar sem falhas no atendimento às demandas por determinado período de tempo. Constitui-se

numa ferramenta de auxílio aos gestores de recursos hídricos que apresenta a eficiência no atendimento aos requerimentos hídricos de um sistema.

Resiliência

A Resiliência, muitas vezes chamada de elasticidade, descreve quão rapidamente o sistema retorna de uma falha caso esta tenha ocorrido, ou seja, indica a probabilidade de uma demanda recuperar-se de uma falha, caso ela ocorra.

Desse modo, a resiliência (Res_i) da demanda i é a probabilidade de haver um estado satisfatório no período $t+1$ dado um valor insatisfatório no período t :

$$Res_i = Prob\{Q_{t+1,i} \in S | Q_{t,i} \in I\} = Prob\{Q_{t+1,i} \geq D_{t+1,i} | Q_{t,i} < D_{t,i}\} \quad (2)$$

A Resiliência, também, é definida como o inverso do valor esperado do tempo em que o sistema permanece em estado insatisfatório.

$$Res_i = \frac{1}{E(d_{i,j})} = \left[\frac{1}{M_i} \sum_{j=1}^{M_i} d_{i,j} \right]^{-1} \quad (3)$$

Em alguns casos, um sistema que apresenta muitas falhas, mas que se recupera rapidamente é preferível àquele que apresente poucas falhas e que se recupera lentamente (FARIAS *et al.*, 2017).

Vulnerabilidade

A Vulnerabilidade (Vul_i) da demanda i mede a magnitude das falhas a que o sistema está sujeito, indicando quão severa é a falha, caso ocorra. Ela pode ser definida como a média do percentual de déficits do conjunto de todos os valores insatisfatórios.

$$Vul_i = \frac{1}{NF_i} \sum_{t=1}^{NT} \left| \frac{D_{t,i} - Q_{t,i}}{D_{t,i}} \right| \quad (4)$$

Indicadores de Eficiência Associados aos Sistemas de Recursos Hídricos

Os indicadores de eficiência associados aos sistemas de recursos hídricos utilizados foram baseados no trabalho de Vieira (1996) adaptado por Farias *et al.* (2017), são eles:

- Indicador de ativação da potencialidade (*IAP*) – relação entre disponibilidade e potencialidade, indica a porcentagem de água utilizada em relação a toda a água disponível na bacia.

$$IAP = \frac{Disponibilidade}{Potencialidade} \quad (5)$$

Geralmente, áreas de captação com *IAP* inferior a 0,6 apresentam possibilidades de aumento da disponibilidade no seu espaço geográfico. Bacias hidrográficas com um *IAP* superior a 0,6, onde as demandas apresentam-se reprimidas por incapacidade de aumentar a disponibilidade, podem ser supridas através de aportes advindos de transposições de água a partir de outras bacias (VIEIRA, 1996).

- Indicador de utilização da disponibilidade (*IUD*) – relação entre demanda e disponibilidade, indica o percentual de água disponível destinado a atender às demandas.

$$IUD = \frac{Demanda}{Disponibilidade} \quad (6)$$

Valores acima de uma unidade são preocupantes ao atendimento das demandas, pois em anos de baixa pluviosidade haverá conflitos pelo uso da água (VIEIRA, 1996).

- Indicador de utilização da potencialidade (*IUP*) – razão entre demanda e potencialidade, indica a quantidade de água (vazão total) utilizada para atendimento das demandas.

$$IUP = \frac{Demanda}{Potencialidade} \quad (7)$$

A potencialidade representa a quantificação dos recursos hídricos sem a intervenção humana, em seu estado natural. Vieira (1996) a representa pelo escoamento natural médio, soma do escoamento superficial direto com o escoamento de base. Farias *et al.* (2017) utiliza a soma de todos os influxos ao sistema hídrico.

A disponibilidade hídrica é a parcela da potencialidade ativada pelo homem. Suas variações dependem dos fatores naturais e daqueles ligados ao destino da água e seu aproveitamento (VIEIRA, 1996). Farias *et al.* (2017) define a disponibilidade como sendo a potencialidade menos as perdas (volume de água perdido em trânsito no leito do rio, evaporação nos reservatórios e volumes vertidos no final do sistema hídrico).

As demandas são os usos consuntivos tais como abastecimento humano, dessedentação animal, irrigação, entre outros (FARIAS *et al.*, 2017).

2.6.3.1 Aplicações dos indicadores de desempenho e de eficiência em sistemas de recursos hídricos

A seguir estão apresentados estudos utilizando indicadores de desempenho e de eficiência em sistemas de recursos hídricos:

- Brito *et al.* (2019) avaliaram as perdas hídricas em trânsito no rio e por evaporação nos quatro reservatórios receptores da vazão exógena do Projeto de Integração do Rio São Francisco - PISF na bacia do rio Paraíba (PB). Para tanto, foi utilizado um modelo de otimização multiobjetivo baseado em Programação Linear (PL) e o desempenho do sistema foi avaliado por meio de indicadores de desempenho de atendimento as demandas e de eficiência dos reservatórios.
- Queiroz Reis *et al.* (2019), analisaram a sustentabilidade hídrica do sistema de reservatórios composto pelos açudes Engenheiro Ávidos e São Gonçalo quanto aos seus múltiplos usos e identificaram os problemas relativos ao uso inadequado de suas águas. Para isso, fizeram uso do Sistema de Suporte de Decisão Acquanet

e avaliaram os cenários propostos com base nos indicadores de desempenho de atendimento as demandas e de eficiência dos reservatórios.

- Costa Neto (2020), analisou alternativas de entrada da vazão exógena proveniente do Projeto de Integração do rio São Francisco na bacia do rio Piancó-Piranhas-Açu, avaliando a sustentabilidade hídrica dos usos no estado da Paraíba através de um modelo de otimização multiobjetivo. O desempenho foi avaliado por meio de indicadores de desempenho de atendimento as demandas e de eficiência dos reservatórios.
- Zou *et al.* (2020), por meio dos indicadores confiabilidade, resiliência e vulnerabilidade avaliaram quantitativamente o impacto de medidas adaptativas na alocação ótima dos recursos hídricos, buscando enfrentar as incertezas frente às mudanças climáticas globais e a contribuição das atividades humanas nessas mudanças. Com os resultados dos indicadores puderam traçar diretrizes para um planejamento de adaptação mais eficaz.
- Qinghui You *et al.* (2022), propuseram uma estrutura de confiabilidade – resiliência – vulnerabilidade para quantificar a influência de mudanças sazonais nas flutuações do nível de água nas condições do lago Poyang na China. Esta estrutura confiabilidade – resiliência – vulnerabilidade estabelece ligações quantitativas entre as mudanças de flutuações do nível de água e as condições do ecossistema, fornecendo uma ferramenta viável para a gestão do nível de água, que pode ser aplicado em outros lagos com regimes hidrológicos semelhantes.

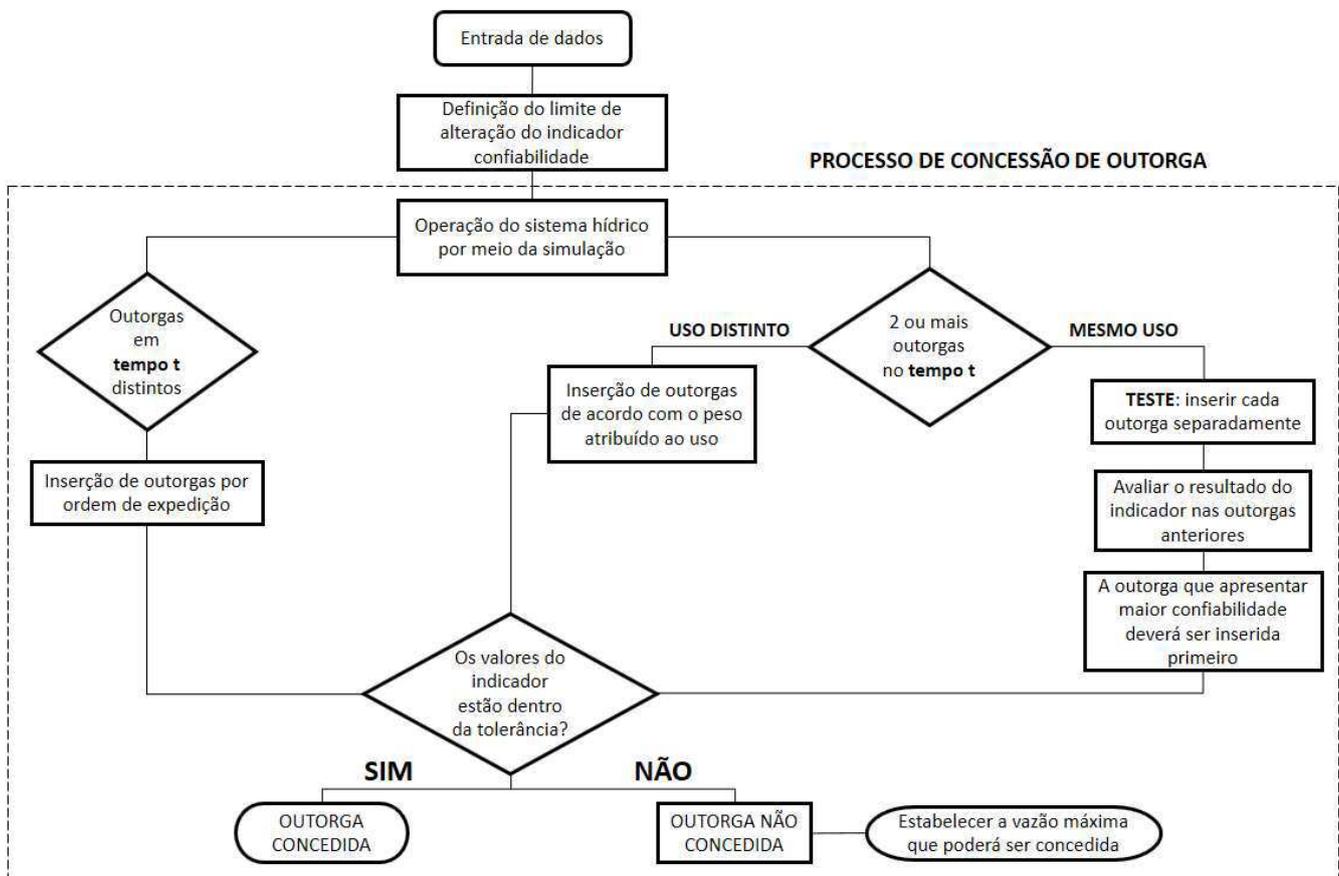
3. METODOLOGIA PARA CONCESSÃO DE OUTORGA PARA SISTEMAS DE RECURSOS HÍDRICOS

Como visto anteriormente, determinar a vazão máxima outorgável a ser liberada para uso dos recursos hídricos é bastante complexo. Os Estados que possuem a implementação de outorga de direito de uso dos recursos hídricos, muitas vezes, utilizam a metodologia da vazão referencial, a qual se torna a máxima vazão outorgável de determinado manancial, o que limita a utilização da água, ocasionando perdas hídricas que poderiam ser convertidas em uso. Nesse sentido, a reservação de água acima do limite do seu uso, implica na evaporação dessa água, diminuindo o volume do manancial, fazendo com que essa perda não seja convertida em oferta para os diversos tipos de uso necessários na sociedade.

Com o intuito de tentar solucionar essa problemática, alguns trabalhos foram desenvolvidos utilizando modelos matemáticos, como a simulação e otimização, no entanto, não apresentaram eficiência para a integração do sistema, ou seja, foram analisados os reservatórios de forma separada. Dessa forma, não se consegue analisar o impacto que determinada outorga pode ocasionar a montante ou a jusante da mesma.

Sendo assim, a metodologia proposta apresenta a possibilidade de analisar se uma nova outorga pode ser ou não concedida a partir do seu impacto em todo o sistema hídrico. A Figura 3 apresenta o fluxograma da metodologia proposta.

Figura 3 - Fluxograma da metodologia de apoio ao processo de concessão de outorga.



Fonte: Autor (2023)

As etapas da metodologia estão descritas a seguir:

3.1 ENTRADA DOS DADOS

A primeira etapa consta do levantamento e a entrada de dados, levando em consideração as legislações e decretos referentes à outorga de uso dos recursos hídricos nos âmbitos federal e estadual. Também devem ser levados em consideração os estudos anteriores desenvolvidos na bacia hidrográfica, como os planos diretores.

Para garantir a segurança nos resultados da aplicação da metodologia recomenda-se utilizar, como base nos dados, uma série histórica dos últimos 20 anos, sendo necessário os seguintes dados:

✓ **Bacia Hidrográfica**

- Dados climatológicos da região (evaporação);
- Dados pluviométricos;
- Dados fluviométricos;
- Área irrigada atual, demandas para irrigação, tradição e tipo de culturas agrícolas;
- Taxas de crescimento populacional, população residente.

✓ **Reservatórios**

- Características físicas (cota × área × volume, medidas de vazão de entrada e saída, taxa de evaporação);
- Vertedouros, descarga de fundo, tomadas d'águas.

✓ **Outorgas**

Dados dos outorgados vigentes nos usos de abastecimento público, irrigação, indústria, aquicultura, entre outros. Deverá ser definida uma ordem de prioridade para os usos dos recursos hídricos de acordo com o plano de recursos hídricos. Essa prioridade se refere ao peso atribuído para cada tipo de uso, ou seja, a outorga de abastecimento terá maior peso se comparado ao uso de irrigação, por exemplo.

3.2 DEFINIÇÃO DO LIMITE DE ALTERAÇÃO PARA O INDICADOR CONFIABILIDADE

O indicador de confiabilidade de atendimento da outorga mostrou-se mais eficaz para analisar os resultados da operação do sistema hídrico. Dessa forma, deverá ser definido o quanto o indicador confiabilidade pode variar para cada tipo de uso. Por exemplo, para o uso de irrigação a variação do indicador pode ser de até 10%, sendo assim, o valor mínimo de confiabilidade para esse tipo de uso será de 90%. Esses valores devem ser definidos por cada órgão gestor e por seus comitês de bacia hidrográfica, visto que cada bacia possui suas peculiaridades e legislações próprias do Estado onde está inserida.

Com as outorgas atuais (outorgas inseridas na etapa de entrada de dados), serão calculados os valores do indicador para que seja observado o estado atual do sistema em estudo. Assim, quando um novo pedido de outorga for introduzido, serão avaliados os novos valores desse indicador, ou seja, o quanto a nova outorga impactou no sistema.

É importante destacar que outro indicador representativo para ser analisado é o volume de água perdido por evaporação, visto que a água evaporada é indicativo de que esse recurso poderia ser melhor alocado, com a inserção de novas outorgas, para evitar perdas.

3.3 PROCESSO DE CONCESSÃO DE OUTORGA

Após a entrada dos dados e escolha dos limites de variação para o indicador, inicia-se a operação do sistema por meio da simulação. No modelo aqui desenvolvido, existem três possibilidades para a inserção das outorgas na operação.

- **Primeira possibilidade:** O operador do sistema deve dar início a operação com a inclusão das outorgas por ordem de solicitação (outorgas com tempo t distinto).
- **Segunda possibilidade:** Duas ou mais outorgas de uso diferente são solicitadas no mesmo tempo t . Nesse caso, a outorga deve ser inserida no sistema por ordem de prioridade, ou seja, de acordo com o peso atribuído para cada uso.
- **Terceira possibilidade:** Duas ou mais outorgas de mesmo uso são solicitadas no mesmo tempo t . Nessa situação, deverão ser realizados testes para analisar o impacto da inserção de cada outorga no indicador de confiabilidade das outorgas anteriores. Após realizar o teste para cada outorga solicitada no tempo t , o operador do sistema irá inserir as outorgas de acordo com os melhores resultados para o indicador, ou seja, a outorga que apresentar menor impacto ao sistema hídrico (maior confiabilidade) deverá ser inserida primeiro na operação.

A cada novo pedido de outorga inserido, deverão ser calculados os valores do indicador, sendo possível identificar se o novo pedido pode ser concedido sem comprometimento dos indicadores do sistema, bem como se não afetará um pedido de outorga anterior.

Se, de acordo com os critérios de concessão, o novo pedido não comprometer negativamente os indicadores do sistema, a outorga será concedida. No entanto, se houver comprometimento, a outorga não será concedida.

Por exemplo, se o indicador de confiabilidade do sistema reduzir acima da tolerância estabelecida pelo operador, a outorga não poderá ser concedida. Dessa forma, será ofertado ao requerente da outorga um valor menor para que esteja dentro da faixa permitida de variação estabelecida no indicador, sendo assim, fica a cargo do solicitante da outorga aceitar ou não o valor concedido. No entanto, se após a entrada do novo pedido o indicador de confiabilidade estiver dentro da tolerância permitida, a outorga será concedida.

No caso de a outorga não ser concedida em determinado local do sistema hídrico, o operador deverá analisar o máximo de vazão que será permitida outorgar nessa localidade. A localidade aqui mencionada se refere a localização geográfica da outorga solicitada. O operador deve inserir esta outorga no sistema de acordo com a localização da mesma.

Se o solicitante aceitar o valor máximo permitido, esse valor deverá ser inserido na operação como outorga concedida. O processo será repetido a cada novo pedido de outorga.

4. ESTUDO DE CASO

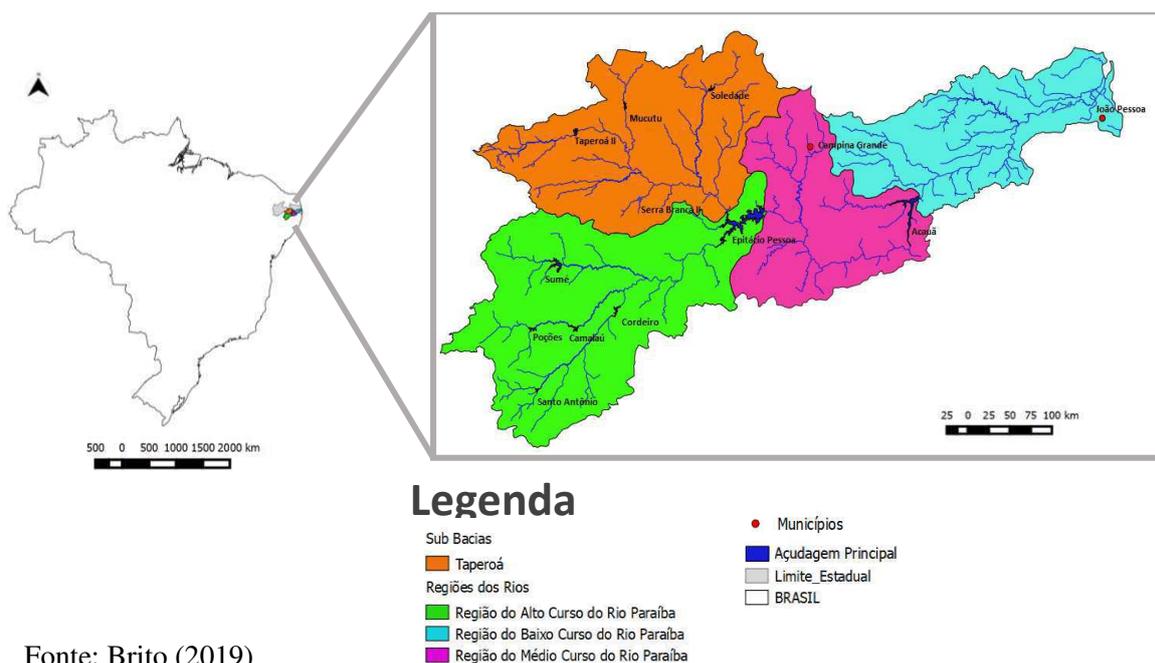
Para verificar a viabilidade técnico-operacional da metodologia proposta, a mesma foi aplicada na bacia hidrográfica do rio Paraíba – PB. Para tanto, foi fundamental a realização da análise do sistema hídrico, com a definição da sua área de estudo, bem como dos reservatórios fundamentais para a aplicação.

Nesse trabalho foi utilizado um modelo de simulação, que permitiu a aplicação da metodologia proposta, incorporando as prioridades de atendimento dos diversos usos (abastecimento urbano e rural, aquicultura, irrigação, dentre outros). Além disso, o modelo de simulação permitiu operar o sistema de forma integrada, analisando toda a bacia hidrográfica em estudo.

4.1 ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do Rio Paraíba (Figura 4) está completamente inserida nos limites do estado da Paraíba, sendo a segunda maior bacia hidrográfica do estado e um dos sistemas hidrográficos mais importantes do semiárido nordestino. Ela compreende 35,7% do território estadual, drenando uma área de 20.127,17 km² (GRANGEIRO, 2019).

Figura 4 - Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba



Fonte: Brito (2019)

A Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba é composta por oitenta e cinco municípios, entre eles, as duas cidades mais importantes do estado da Paraíba (João Pessoa – capital do estado, e Campina Grande – centro econômico, educacional e tecnológico do Nordeste). Os seus limites hidrográficos são divididos em quatro sub-bacias: a Bacia Hidrográfica do Rio Taperoá e as Bacias Hidrográficas do Alto, Médio e Baixo Paraíba e integra as mesorregiões da Borborema, do Agreste e do Litoral paraibano.

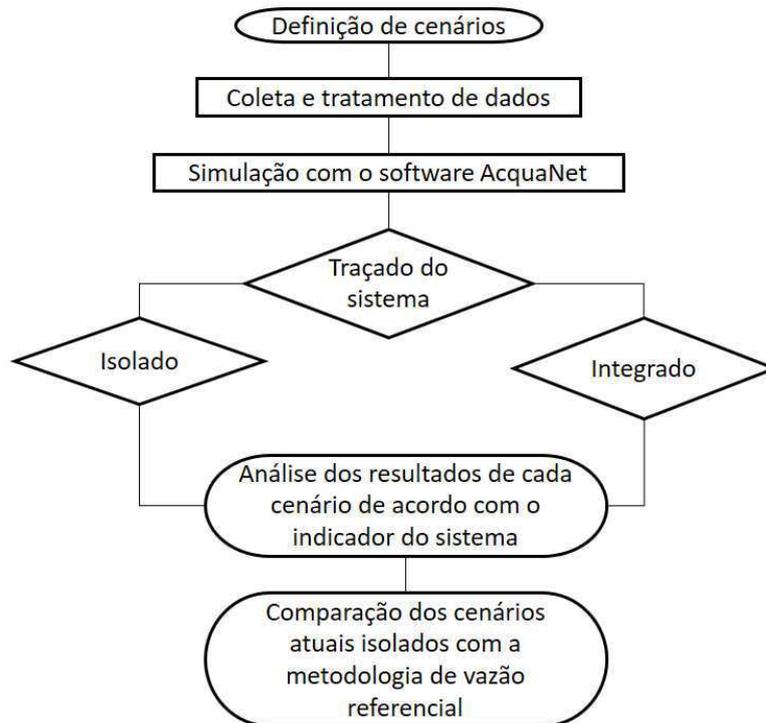
A bacia hidrográfica do Alto Rio Paraíba está localizada entre as coordenadas 37° 20' e 36° 10' W e 7° 20' e 8° 20' S, no Planalto da Borborema, sob domínio do clima semiárido, abrangendo a Mesorregião da Borborema e as Microrregiões do Cariri Ocidental e Oriental da Paraíba. Possui aproximadamente 6.280 km² e engloba totalmente os territórios de 12 municípios, são eles: São Sebastião do Umbuzeiro, São João do Tigre, Zabelê, Monteiro, Prata, Ouro Velho, Amparo, Sumé, Camalaú, Congo, Coxixola e Caraúbas. Abrange, ainda que parcialmente, áreas dos municípios de São José dos Cordeiros, Serra Branca, São João do Cariri, Cabaceiras e Barra de São Miguel (DORNELLAS *et al.*, 2020).

De acordo com Ribeiro (2016), a Região do Alto Curso está localizada na parte sudoeste do planalto da Borborema, faz fronteira ao norte com a bacia do Taperoá, ao sul e a Oeste com o estado de Pernambuco e a Leste com a Região do Médio Curso do rio Paraíba. A Região do Médio Curso situa-se ao sul do planalto da Borborema, limita-se ao sul, com o estado de Pernambuco, a oeste, com a bacia do Taperoá e com a Região do Alto Curso.

4.2 ETAPAS PARA O ESTUDO DE CASO

Para a validação da metodologia de apoio ao processo de outorga proposto, foram realizados os passos apresentados na Figura 5.

Figura 5 - Fluxograma do estudo de caso



Fonte: Autor (2023)

4.2.1 Cenários

Foram definidos alguns cenários, com o objetivo de otimizar o processo de outorga na bacia do rio Paraíba e sub bacia do rio Taperoá, visando ao atendimento do maior número de demandas possível, sem comprometer a capacidade de suporte da bacia. O Quadro 2 define brevemente os cenários estudados.

Os cenários foram divididos primeiramente considerando a configuração do sistema, sendo integrado ou isolado. Após isso, foi considerada a temporalidade, ou seja, atual e futuro, o qual se refere à progressão populacional de 20 anos.

Nesses cenários foi proposta a análise do sistema sob duas formas, integrado e isolado, para verificar qual a melhor configuração para o sistema em estudo, ou seja, qual o melhor tipo de traçado para o sistema hídrico que possibilite a melhor alocação dos recursos hídricos existentes.

Quadro 2 - Cenários propostos no estudo

CENÁRIOS		CÓDIGO	DESCRIÇÃO	
ATUAL	INTEGRADO	Vazão média	C-AInMéd	Cenário com demandas atuais, integrado e com a vazão média do PISF
		Vazão mínima	C-AInMín	Cenário com demandas atuais, integrado e com a vazão mínima do PISF
		Vazão real	C-AInR	Cenário com demandas atuais, integrado e com a vazão real do PISF
	ISOLADO	Vazão média	C-AIsMéd	Cenário com demandas atuais, isolado e com a vazão média do PISF
		Vazão mínima	C-AIsMín	Cenário com demandas atuais, isolado e com a vazão mínima do PISF
		Vazão real	C-AIsR	Cenário com demandas atuais, isolado e com a vazão real do PISF
FUTURO	INTEGRADO	Vazão média	C-FInMéd	Cenário com demandas futuras, integrado e com a vazão média do PISF
		Vazão mínima	C-FInMín	Cenário com demandas futuras, integrado e com a vazão mínima do PISF
	ISOLADO	Vazão média	C-FIsMéd	Cenário com demandas futuras, isolado e com a vazão média do PISF
		Vazão mínima	C-FIsMín	Cenário com demandas futuras, isolado e com a vazão mínima do PISF

Fonte: Autor (2023)

Sistema integrado

A Figura 6 mostra um exemplo do sistema integrado. Observa-se que no sistema integrado, toda a bacia do rio Paraíba e a sub bacia do rio Taperoá estão interligadas.

Sistema isolado

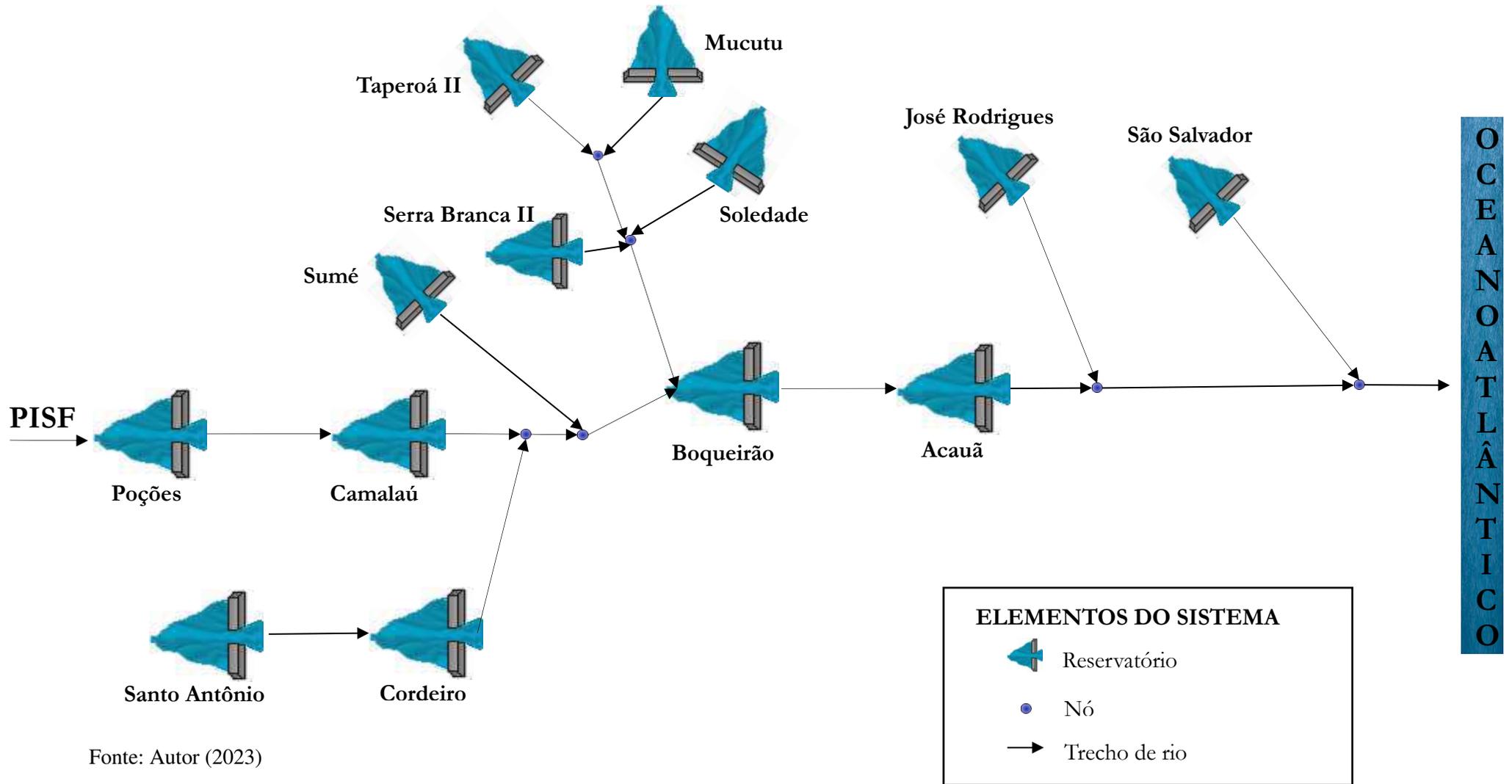
A Figura 7 apresenta os sistemas isolados. Os subsistemas considerados são:

- Santo Antônio e Cordeiro;
- Sumé;

- Taperoá (sub bacia do rio Taperoá);
- José Rodrigues;
- São Salvador;
- Trecho principal (do reservatório de Poções até o mar).

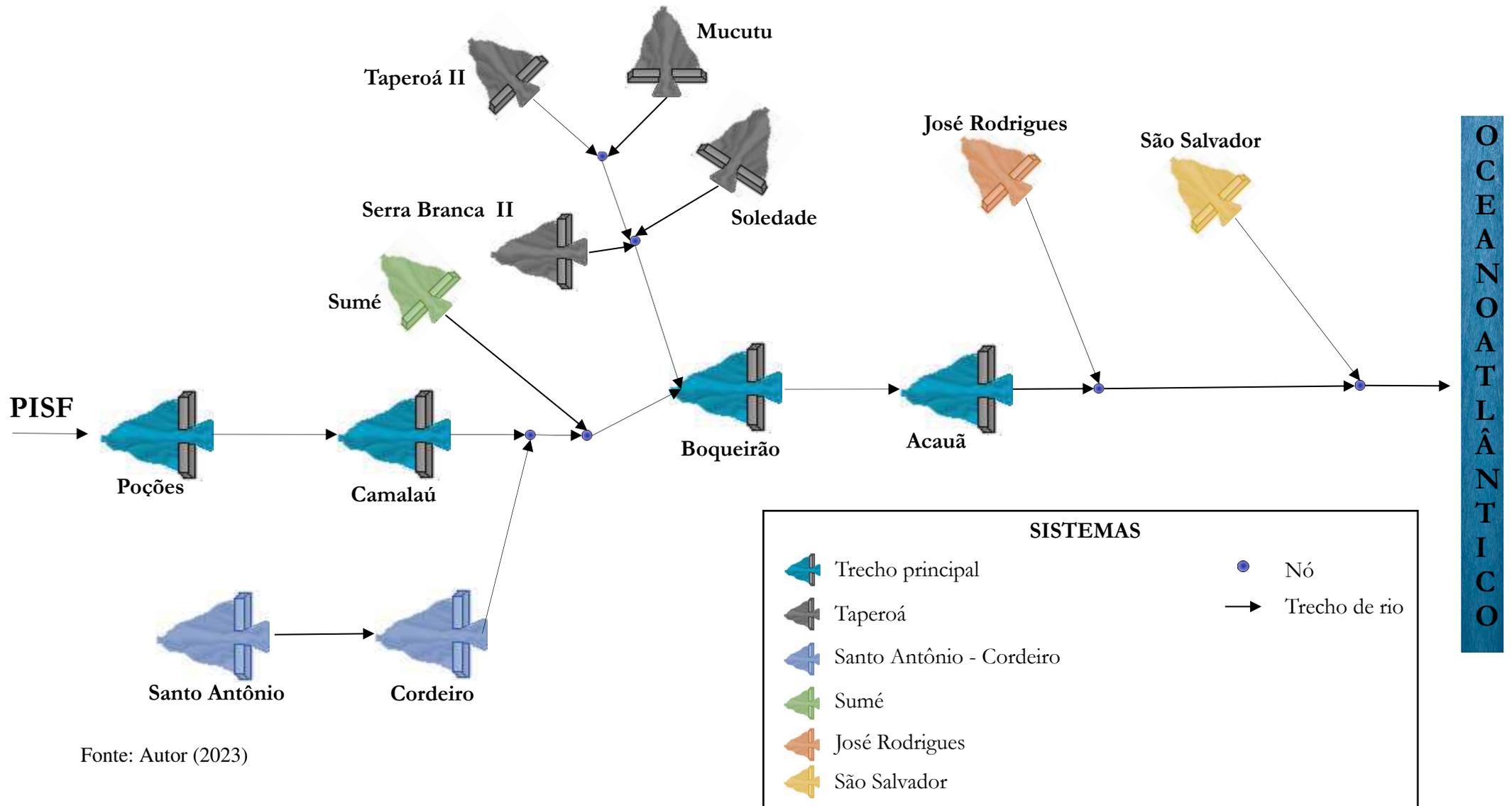
Nesse estudo de caso foram considerados os reservatórios da bacia hidrográfica do rio Paraíba e sub bacia do rio Taperoá com capacidade maior ou igual a 10 milhões de metros cúbicos (Poções, Camalaú, Epitácio Pessoa, Acauã, Cordeiro, Santo Antônio, Mucutu, Sumé, Taperoá II, Serra Branca II, Soledade, José Rodrigues e São Salvador).

Figura 6 - Layout do sistema em estudo



Fonte: Autor (2023)

Figura 7 - Sistemas isolados



Fonte: Autor (2023)

Atual

Os cenários atuais são os que consideram as outorgas vigentes atualmente no sistema em estudo. O que irá diferir entre os cenários caracterizados como atuais, serão as vazões (média, mínima e real) do PISF e se o cenário é isolado ou integrado. A inserção das outorgas no sistema deve se dar pela ordem de expedição ou por ordem de solicitação. Como, no caso em estudo, tem-se em mãos as outorgas do sistema, foram inseridas pela ordem de expedição realizada pelo órgão gestor AESA. No entanto, a medida que houver novas outorgas, essas devem ser inseridas por ordem de solicitação ao órgão gestor.

Futuro

Os cenários futuros são os que consideram as outorgas futuras para o sistema em estudo. As outorgas atuais de irrigação e aquicultura serão utilizadas nos cenários futuros pois, considera-se que elas podem ser renovadas ao longo do tempo.

Com relação as outorgas de abastecimento público atuais, elas também serão consideradas nos cenários futuros, sendo colocadas em primeiro no sistema, visto que elas já existem na operação futura, o que ocorrerá será o aumento dessas demandas de abastecimento devido à progressão populacional. Esse aumento de demanda será considerado como uma outorga, a qual será inserida depois no sistema. Os cenários futuros irão considerar os perímetros irrigados, conforme o tópico 4.2.2.8 e as adutoras do tópico 4.2.2.5. Diferentemente do cenário atual, como há para o cenário futuro mais demandas para inserir, foi realizada a seguinte ordem de inserção dessas demandas no AcquaNet:

- **Primeiro:** outorgas de abastecimento público já existentes nas outorgas atuais da AESA;
- **Segundo:** outorgas atuais de irrigação e aquicultura da AESA, de acordo com a ordem de expedição;
- **Terceiro:** Adutoras futuras. No caso em estudo, foram inseridas as adutoras em ordem para os seguintes reservatórios: Epitácio Pessoa, Poções, Cordeiro, Camalaú, Sumé, Acauã e São Salvador;
- **Quarto:** Perímetros irrigados. No caso em estudo, foi usada a seguinte ordem dos perímetros: Poções, Vereda Grande, Congo e Sumé;
- **Quinto:** Canal Acauã-Araçagi.

4.2.2 Dados do sistema

4.2.2.1 Dados de outorga

Os dados de outorga dos usuários de água nas regiões do alto, médio e baixo cursos do rio Paraíba e sub bacia do rio Taperoá foram coletados na AESA. Dessa forma, foi elaborado um diagnóstico das outorgas na região em estudo.

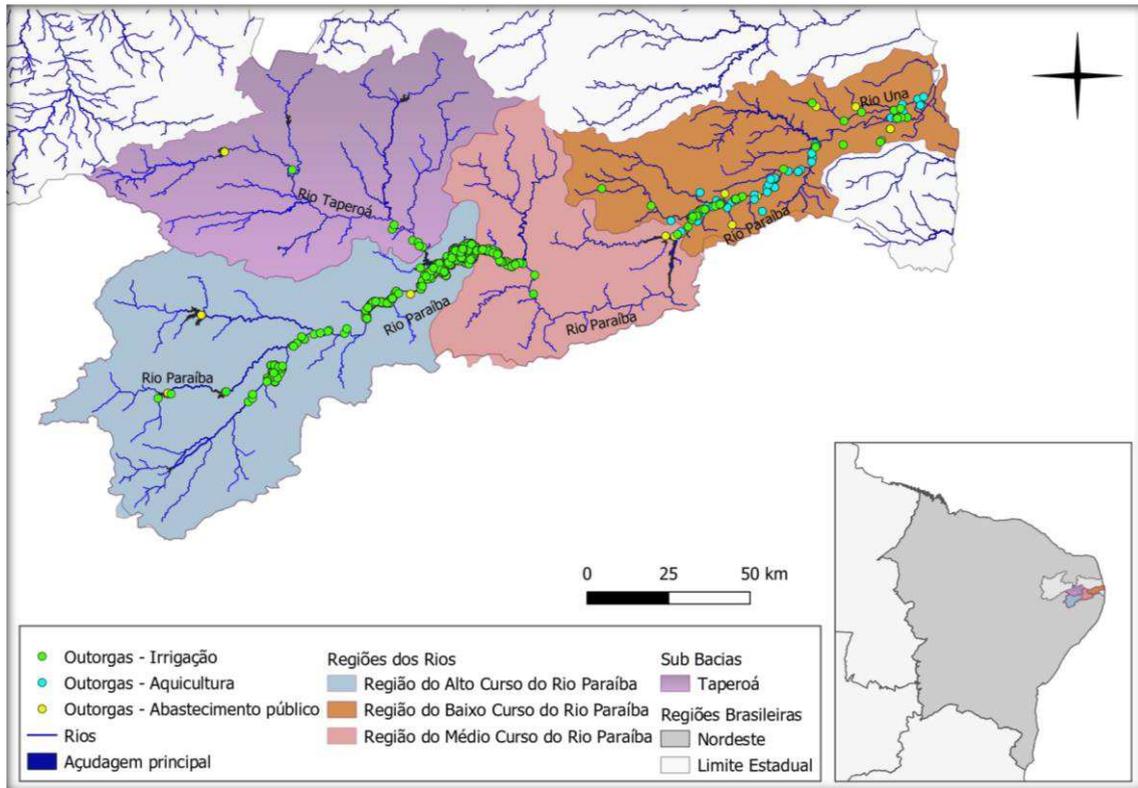
Observa-se na Tabela 1 que no sistema em estudo há 921 outorgas vigentes (Figura 12) para os tipos de uso de abastecimento, aquicultura e irrigação, este último de maior prevalência. As Figuras 8, 9, 10 e 11 apresentam a localização no mapa dessas outorgas. Os usos insignificantes, aqueles considerados até 2.000 L/s, representam uma fração muito pequena em comparação ao volume total outorgado. O uso que demanda a maior quantidade de vazão do sistema hídrico é para o abastecimento público, seguido pela aquicultura e irrigação.

Tabela 1 - Outorgas pelo tipo de uso em todo o sistema

USO	NÚMERO DE OUTORGAS		VAZÃO (m ³ /s)	
	Significante	Insignificante	Significante	Insignificante
Abastecimento	20	2	3,974	0,0005
Aquicultura	58	2	2,373	0,0005
Irrigação	830	9	1,539	0,004
TOTAL	908	13	7,886	0,005

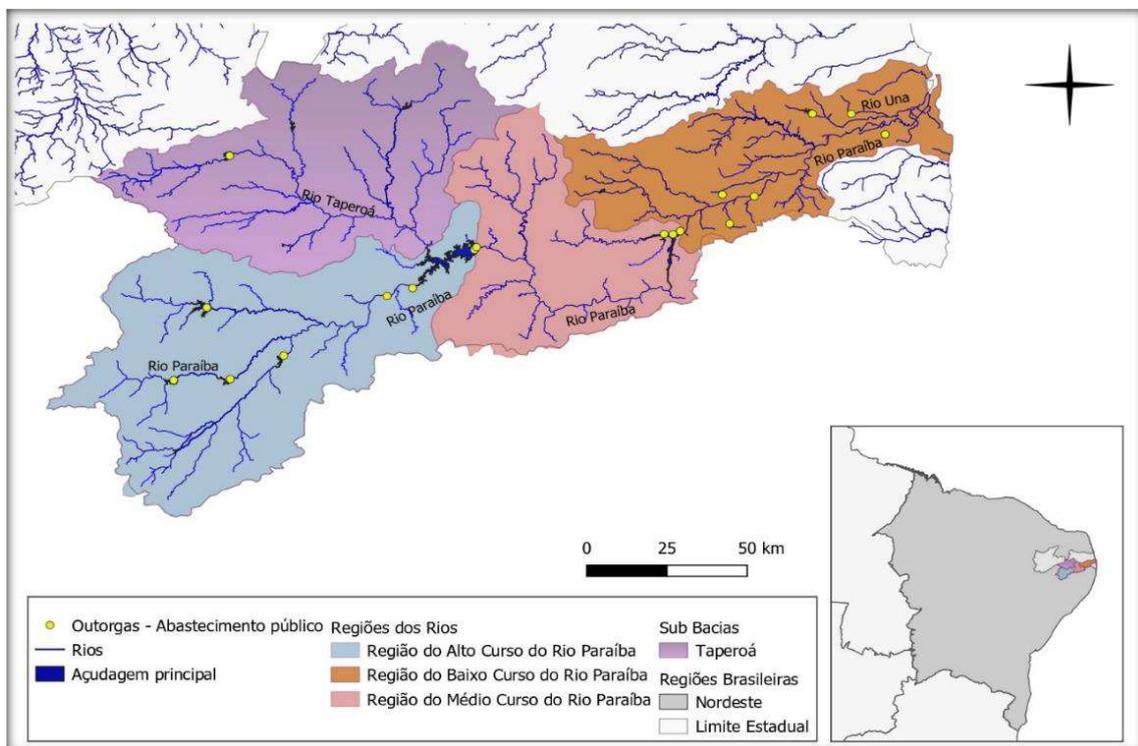
Fonte: Autor (2023)

Figura 8 - Mapa com a localização de todas as outorgas do sistema



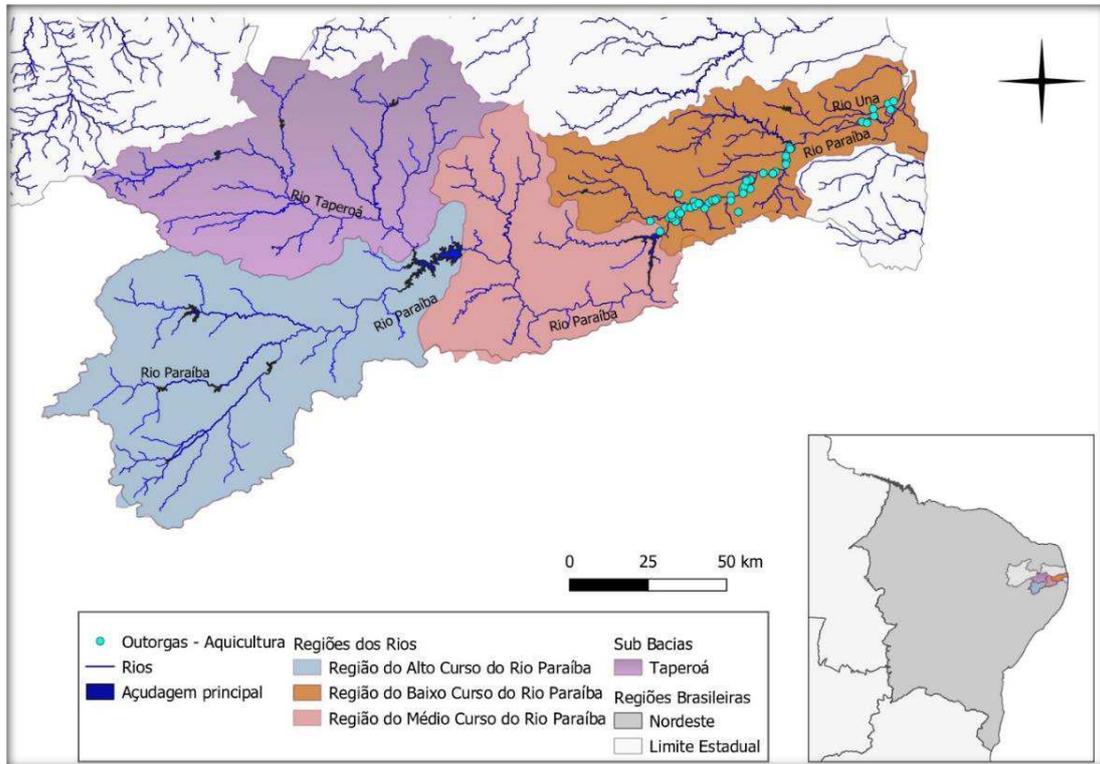
Fonte: Autor (2023)

Figura 9 - Mapa com a localização das outorgas de abastecimento do sistema



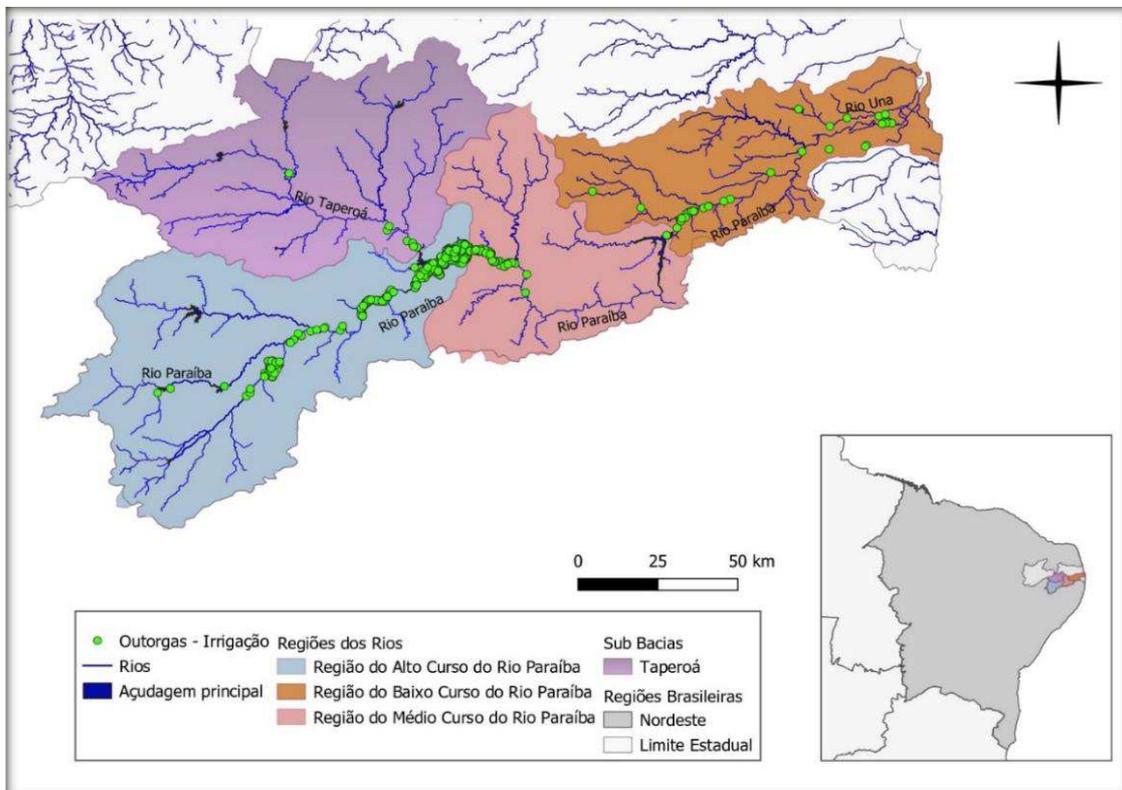
Fonte: Autor (2023)

Figura 10 - Mapa com a localização das outorgas de aquicultura do sistema



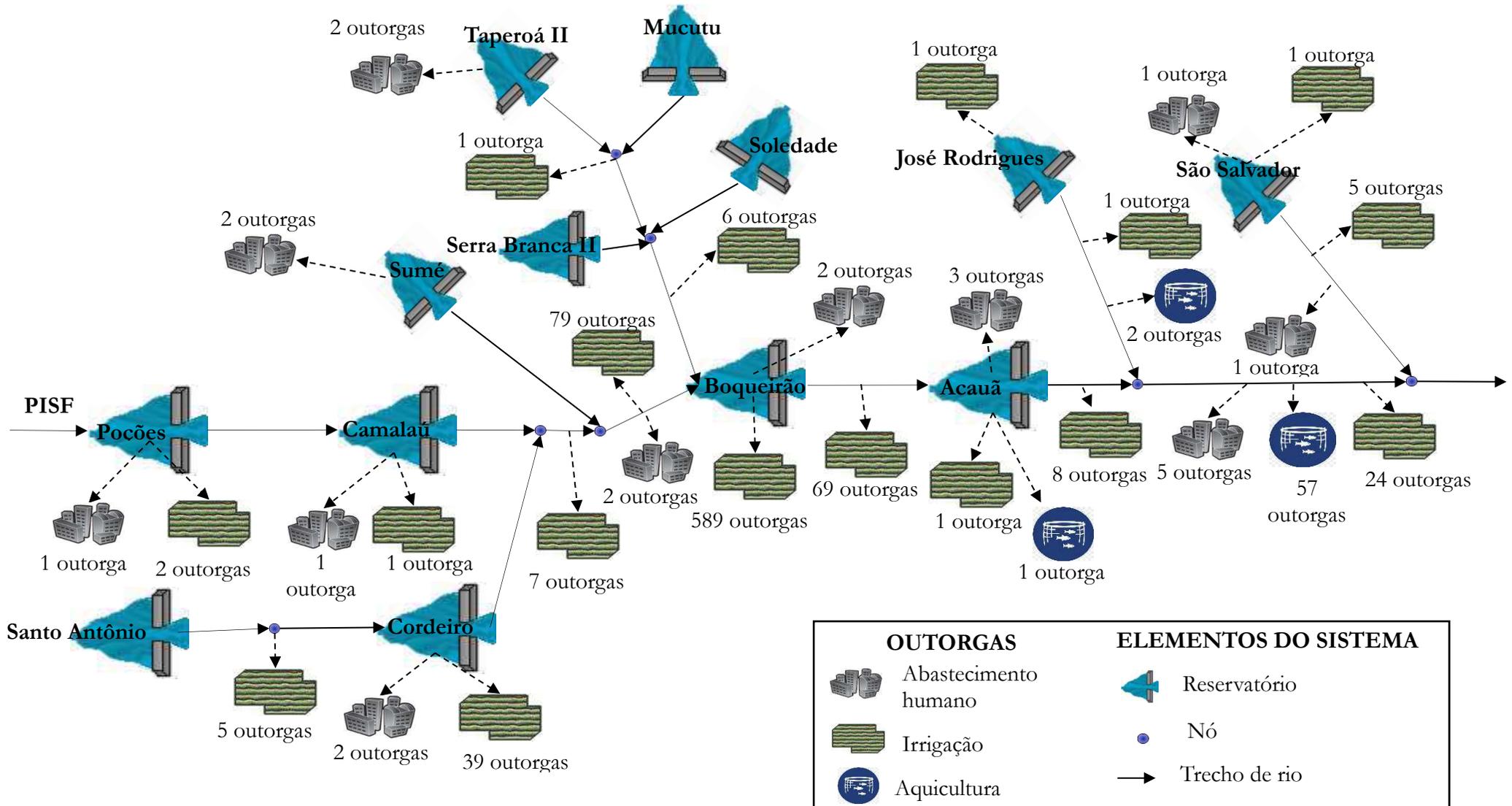
Fonte: Autor (2023)

Figura 11 - Mapa com a localização das outorgas de irrigação do sistema



Fonte: Autor (2023)

Figura 12 - Outorgas existentes no sistema em estudo



A Tabela 2 apresenta os usos com suas respectivas vazões para cada reservatório do sistema em estudo. Para o uso de abastecimento público, o reservatório Epitácio Pessoa requer a maior demanda no valor de 1,43m³/s, seguido pelo reservatório Acauã, com 0,954m³/s. Com relação à aquicultura, apenas o reservatório Acauã possui outorga para este uso. Para o uso de irrigação, a maior vazão também está no reservatório Epitácio Pessoa com 0,44m³/s, seguido do reservatório de Cordeiro, com 0,115m³/s.

Tabela 2 - Outorgas pelo tipo de uso nos reservatórios do sistema

Reservatórios	VAZÃO (m ³ /s)		
	Abastecimento	Aquicultura	Irrigação
Acauã	0,954	0,021	0,003
Camalaú	0,017	0	0,001
Cordeiro	0,151	0	0,115
Epitácio Pessoa	1,43	0	0,44
José Rodrigues	0	0	0,011
Mucutu	0	0	0
Poções	0,033	0	0,006
Santo Antônio	0	0	0
São Salvador	0,173	0	0,042
Serra Branca	0	0	0
Soledade	0	0	0
Sumé	0,04	0	0
Taperoá II	0,04	0	0

Fonte: Autor (2023)

A Tabela 3 apresenta os usos com suas respectivas vazões para cada rio ou trecho de rio do sistema em estudo.

Tabela 3 - Outorgas pelo tipo de uso nos rios e trechos de rios do sistema

Rios/Trechos de rios	VAZÃO (m ³ /s)		
	Abastecimento	Aquicultura	Irrigação
Alto curso do rio Paraíba	0,372	0	0,161
Baixo curso do rio Paraíba	0,743	2,353	0,252
Médio curso do rio Paraíba	0	0	0,223
Rio Taperoá	0	0	0,031
Rio Una	0,022	0	0,26

Fonte: Autor (2023)

Com relação ao abastecimento público, observa-se que a maior vazão está no baixo curso do rio Paraíba, seguido do alto curso do rio Paraíba. Para a aquicultura há um requerimento de 2,353m³/s na região do baixo curso do rio Paraíba. E com relação ao uso de irrigação, o maior requerimento está no rio Uma, seguido do baixo curso do rio Paraíba com 0,252m³/s e do médio curso do rio Paraíba com 0,223m³/s.

4.2.2.2 Dados de precipitação

Para a determinação da chuva média mensal nas bacias de contribuição dos reservatórios foi utilizado o método do Polígono de Thiessen. Os valores de precipitação foram disponibilizados por AESA (2023). O Quadro 3 apresenta os postos utilizados para a bacias de contribuição de cada reservatório.

Quadro 3 - Reservatórios com seus respectivos postos pluviométricos

RESERVATÓRIO	POSTOS PLUVIOMÉTRICOS
Acauã	Boa Vista, Pocinhos, Montadas, Puxinanã, Campina Grande/São José da Mata, Campina Grande/Sítio Açude de Dentro, Caturité, Barra de Santana, Boqueirão/Açude de Boqueirão, Riacho de Santo Antônio, Alcantil, Santa Cecília, Umbuzeiro, Gado Bravo, Aroeiras, Natuba, Queimadas, Campina Grande/EMBRAPA, Fagundes, Itatuba
Camalaú	Zabelê, Camalaú, Sumé, Prata
Cordeiro	São Sebastião do Umbuzeiro, São João do Tigre, Camalaú, Congo
Epitácio Pessoa (Eixo do rio Paraíba)	Camalaú, Congo, Caraúbas, Barra de São Miguel, São Domingos do Cariri, Coxixola, Sumé, Sumé/Fazenda Bananeiras, Boqueirão/Açude de Boqueirão, Cabaceiras, Riacho de Santo Antônio
Epitácio Pessoa (Eixo do rio Taperoá)	Sumé/Fazenda Bananeiras, Serra Branca, São José dos Cordeiros, Livramento, São João do Cariri, Parari, Santo André, Gurjão, Soledade/Fazenda Pendência, Boa Vista, Soledade, Olivedos, Pocinhos, São Vicente do Seridó, Juazeirinho, Assunção, Taperoá, Sumé/Fazenda Nova, Salgadinho, Cabaceiras
José Rodrigues	Queimadas, Campina Grande/Sítio Massapê de Galante, Fagundes
Mucutu	Juazeirinho, Tenório, Junco do Seridó, Assunção
Poções	Zabelê, Monteiro/EMBRAPA
Santo Antônio	São Sebastião do Umbuzeiro, Zabelê
São Salvador	Mari, Sapé, Sobrado
Serra Branca II	Serra Branca
Soledade	Soledade, Olivedos
Sumé	Sumé, Prata, Ouro Velho, Amparo
Taperoá II	Livramento, Desterro, Cacimbas, Taperoá, Areia de Baraúna

Fonte: Autor (2023)

A Tabela 4 apresenta os valores médios mensais da precipitação nas bacias de contribuição dos reservatórios estudados do ano de 2003 a 2022.

Tabela 4 - Média mensal de precipitação dos anos de 2003 a 2022 nos reservatórios em estudo

RESERVATÓRIO	PRECIPITAÇÃO (mm)											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Acauã	45	45,2	68,6	66,3	81,9	88,1	72,1	35,4	13,3	6	6,5	15,1
Camalaú	44,7	62,6	88,8	79,1	61,7	28,6	22,6	11,1	0,7	9,1	12,6	23,8
Cordeiro	50,4	57,5	78,8	74,5	53,5	25,3	14,7	5,2	1,5	7,3	13,7	30,1
Epitácio Pessoa	51	59,4	86,7	73,1	57,2	40,7	25,6	12,2	2,7	5,9	9,6	16,3
José Rodrigues	46	56,8	83,9	80,9	101,5	107,8	98,8	45,8	17,3	6,5	5,6	15,9
Mucutu	64,9	68,6	114,9	99,9	48,9	40,1	23,5	10,5	2,2	3,3	7,6	21,2
Poções	77,8	65,9	100,1	85,6	81,9	38,3	25,2	12,4	1,6	12,4	19,2	29,5
Santo Antônio	49	73,4	83,8	75,3	60,9	25,7	18,5	8,4	3,1	8,7	15	31
São Salvador	80,4	97,1	103,2	113,9	160,4	186,4	159,3	73,7	37,2	15,2	12,1	29,9
Serra Branca II	57,8	64,5	106,4	60,6	65,6	39,1	23,3	11,4	3,6	5	7,6	20,1
Soledade	33,1	48,6	64,3	62,6	64,2	42,7	32,9	15,1	4,8	2,6	3,4	14,7
Sumé	70,9	77,1	124,7	106,9	70,7	39,5	26,8	11,4	1,6	7,5	14,5	23,1
Taperoá II	79,9	102,9	151,4	133,9	72,3	29,6	19,8	7	1,5	7,8	12,2	24,2

Fonte: Autor (2023)

4.2.2.3 Dados de evaporação

O volume de água mensal, em milímetros, evaporado nos reservatórios em estudo foi obtido a partir de dados da ANA (2017), como pode ser observado na Tabela 5.

Tabela 5 - Valores da taxa de evaporação (mm) dos reservatórios em estudo

RESERVATÓRIO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Acauã	188	155	133	105	83	69	73	98	128	158	185	189
Camalaú	259	192	163	127	114	121	146	197	220	262	288	276
Cordeiro	249	189	159	122	110	114	138	182	207	250	277	268
Epitácio Pessoa	209	169	142	116	98	90	108	140	171	204	229	224
José Rodrigues	170	141	126	100	79	66	75	101	134	155	177	180
Mucutu	250	185	154	128	127	148	186	226	243	278	292	277
Poções	264	194	165	131	117	131	157	214	232	271	295	283
São Salvador	188,3	175,9	193,4	178,5	167,1	139,7	131,2	135,4	146,7	165,0	169,2	185,8
Santo Antônio	242	181	162	116	103	106	121	168	206	246	267	254
Serra Branca II	252	189	157	129	119	132	164	209	226	264	287	275
Soledade	214	164	140	116	108	118	148	179	205	232	245	237
Sumé	264	195	163	132	121	136	168	221	240	274	299	287
Taperoá II	261	190	156	131	129	154	194	241	255	289	304	289

Fonte: ANA (2017)

4.2.2.4 Vazões afluentes

Os dados de vazões afluentes aos reservatórios e nós do sistema foram gerados pelo modelo hidrológico chuva x vazão SMAP-M (LOPES *et al.*, 1981).

De acordo com Nepomuceno (2018), o desenvolvimento do SMAP teve como base a experiência com a aplicação dos modelos Stanford Watershed IV e Mero em trabalhos realizados no DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica do estado de São Paulo. Inicialmente, o SMAP foi desenvolvido para intervalos de tempo diários, sendo posteriormente utilizado em estudos mensais e horários, com devidas adaptações em sua estrutura. Como dados de entrada, o modelo utiliza as alturas totais de precipitação e evaporação no intervalo de tempo desejado, a área de drenagem e condições iniciais da bacia hidrográfica.

Com base no modelo SMAP-M foram gerados os dados referentes às vazões afluentes aos reservatórios do sistema em estudo. Com o auxílio dos dados da Tabela 6, foi possível calcular a parcela da precipitação que possa resultar em escoamento superficial (precipitação efetiva).

Tabela 6 - Resumo dos parâmetros de calibração do modelo SMAP mensal

Parâmetros do modelo SMAP – Mensal					
Sat	Pes	Crec	K	Tuin	Ebin
400	2,176	0	5	10	0

Fonte: Diniz (2008)

4.2.2.5 Crescimento populacional

Para cálculo do abastecimento urbano para os cenários futuros, foi realizado um estudo das adutoras em projeto de execução ou em obras na bacia hidrográfica do rio Paraíba e sub bacia do rio Taperoá, com os respectivos municípios abastecidos por cada adutora.

Para análise do crescimento populacional, foram usados dados disponibilizados pelo IBGE nos seus últimos censos. Com esses dados foi possível fazer uma estimativa populacional. Foi utilizado o software LAB Fit (SILVA *et. al.*, 2004) para tratamento de

dados experimentais para estimar esses valores. O horizonte de tempo foi de 20 anos, ou seja, progressão populacional para o ano de 2042.

Os dados das perdas no sistema de distribuição da água foram coletados no site do SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento).

Os dados de demanda per capita utilizados foram extraídos de ANA (2015) para o estado da Paraíba. A Tabela 7 apresenta os referidos valores.

Tabela 7 - Demanda per capita por faixa de habitantes no Estado da Paraíba

Faixa de população urbana	<5000	5000 a 35000	35000 a 75000	>75000
Demanda per capita (L/hab.dia)	222,2	238,6	266,1	262,3

Fonte: ANA (2015)

Com os dados da população para o ano de 2042, do consumo per capita e das perdas na distribuição, foi possível estimar as vazões necessárias para as adutoras realizarem o atendimento das cidades abastecidas por elas.

A Tabela 8 apresenta os dados de consumo per capita para o horizonte de tempo de 20 anos, dados que serão utilizados para os cenários futuros.

Tabela 8 - Vazão (m³/s) das adutoras para um horizonte de tempo de 20 anos

Reservatório	Adutora	Situação	Vazão (m³/s)	Cidades abastecidas
Epitácio Pessoa	SIN – Campina Grande	Existente	1,698	Alagoa Nova, Barra de Santana, Campina Grande, Galante, São José da Mata, Caturité, Lagoa Seca, Matinhas, Pocinhos, Queimadas, São Sebastião de Lagoa de Roça
	SIN – Transparaíba Curimataú	Futura	0,455	Araruna, Baraúna, Barra de Santa Rosa, Cacimba de Dentro, Cuité, Damião, Frei Martinho, Nova Floresta, Nova Palmeira, Picuí, Boqueirão, Cabaceiras, Boa Vista, Cubati, Juazeirinho, Olivedos, Pedra Lavrada, São Vicente do Seridó, Seridó, Soledade, Sossêgo
	SIN – Boqueirão	Futura	0,023	Alcantil, Barra de São Miguel, Riacho de Santo Antônio
Poções	SIN – Transparaíba Cariri	Futura	0,335	Desterro, Cacimbas, Gurjão, Junco do Seridó, Livramento, Monteiro, Ouro Velho, Parari, Prata, Santo André, São João do Cariri, São José dos Cordeiros, Serra Branca, Sumé, Taperoá, Teixeira, Amparo, Assunção
Cordeiro	SIN – Congo	Existente	0,006	Congo
Camalaú	SIN – Camalaú	Futura	0,03	Camalaú, Zabelê, São Sebastião do Umbuzeiro, São João do Tigre
Sumé	Sumé	Existente	0,002	Distrito de Pio X
São Salvador	SIN – Olho D'Água – São Salvador	Existente	0,267	Sapé, Mari, Sobrado, Caldas Brandão, Cajá, Mulungu, Gurinhém
Acauã	SIN – Acauã – Gado Bravo	Existente	0,041	Aroeiras, Gado Bravo
	SIN – Acauã Leste	Existente	0,168	Salgado de São Félix, Mogeiro, Itabaiana, Pilar, Juripiranga, São Miguel do Taipu
	SIN – Acauã Ingá	Existente	0,086	Itatuba, Ingá, Juarez Távora; Zumbi
	Canal Acauã Araçagi	Futura	*	**

Fonte: Autor (2023)

*Não foi considerada uma vazão no canal Acauã-Araçagi, pois de acordo com trabalhos anteriores, como o de Brito (2019), mostraram que a vazão de projeto de 10m³/s não consegue ser atendida. Dessa forma, o canal Acauã-Araçagi é inserido no sistema do AcquaNet apenas no final, após a inserção de todas as demais demandas. Isso possibilitará saber a real vazão que o sistema poderá ofertar para o canal.

**Não foi necessária a especificação da população, visto que não houve o cálculo de progressão populacional para o canal Acauã-Araçagi.

4.2.2.6 Relação Cota x Área x Volume

Os dados das curvas Cota x Área x Volume foram obtidos no documento intitulado Reservatórios do Semiárido Brasileiro – Hidrologia, Balanço Hídrico e Operação (ANA, 2017).

4.2.2.7 Vazão do PISF

Para os cenários propostos foram utilizadas as vazões médias, mínimas e reais do Projeto de Integração do Rio São Francisco - PISF. As vazões médias e mínimas foram obtidas em ANA (2023). A vazão real foi disponibilizada pela AESA (2023). Essa vazão refere-se aos meses de outubro de 2022 a setembro de 2023, totalizando 12 meses. A Tabela 9 apresenta os valores utilizados.

Tabela 9 - Vazões do PISF (m³/s)

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Média	7	7	7	7	7	2,5	2,5	1	1	1	1	1
Mínima	7	7	7	7	2,5	2,5	1	1	1	1	1	1
Real	1,69	1,09	1,51	2,65	3,47	3,22	0,61	2,46	0,8	3,42	1,90	2,77

Fonte: ANA (2023), AESA (2023)

4.2.2.8 Perímetros irrigados

Para os cenários futuros foram considerados os perímetros irrigados propostos para a área de estudo, como pode ser visto na Tabela 10. São considerados apenas nos cenários futuros, visto que ainda não estão em funcionamento.

Tabela 10 - Perímetros irrigados na área de estudo

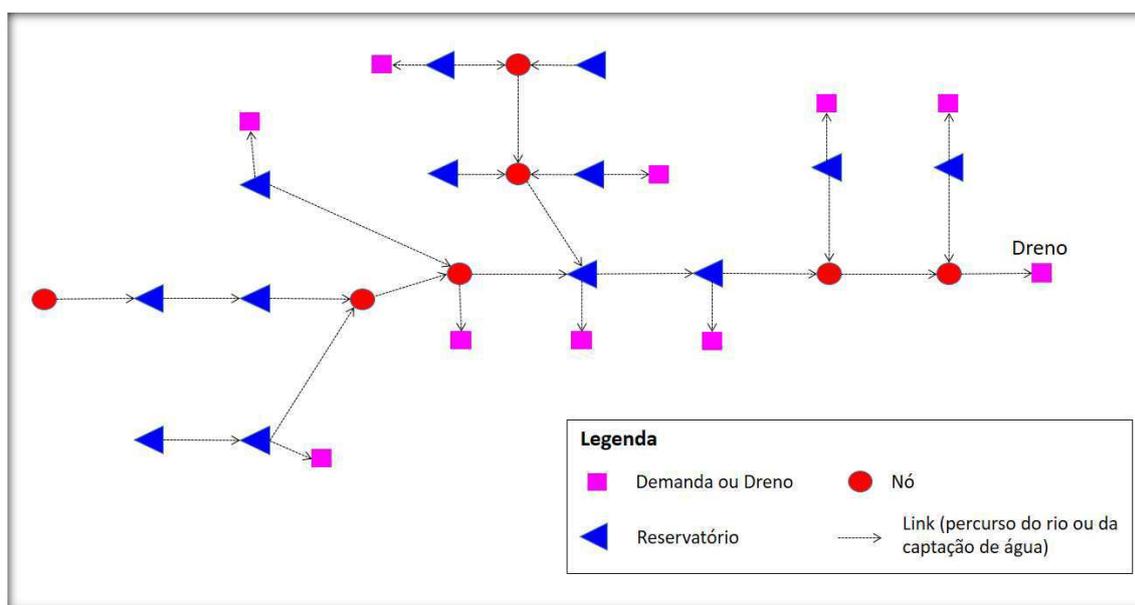
Perímetro	Localização	Fonte hídrica	Área (ha)	Vazão (m ³ /s)
Sumé	A jusante do reservatório de Sumé	Reservatório de Sumé	222	0,117
Poções	Entre os reservatórios Poções e Camalaú	Reservatório de Poções	356	0,16
Congo	Congo	Reservatório de Cordeiro	156	0,07
Vereda Grande	Entre os reservatórios Epitácio Pessoa e Acauã	Reservatório Epitácio Pessoa	289	0,13

Fonte: Lima (2011)

4.2.2 Simulação com o software AcquaNet

Para iniciar a simulação, é preciso realizar a estruturação do sistema no software AcquaNet. No estudo de caso foi realizada a estruturação com dois traçados distintos, isolado ou integrado. Isso se deu pelo fato de que foi observado no decorrer das simulações que o traçado integrado trazia resultados distintos do isolado. A Figura 13 apresenta o sistema integrado no software AcquaNet, onde o nó de entrada se refere à vazão do PISF e a um Dreno no final do sistema, caracterizando a água lançada no mar.

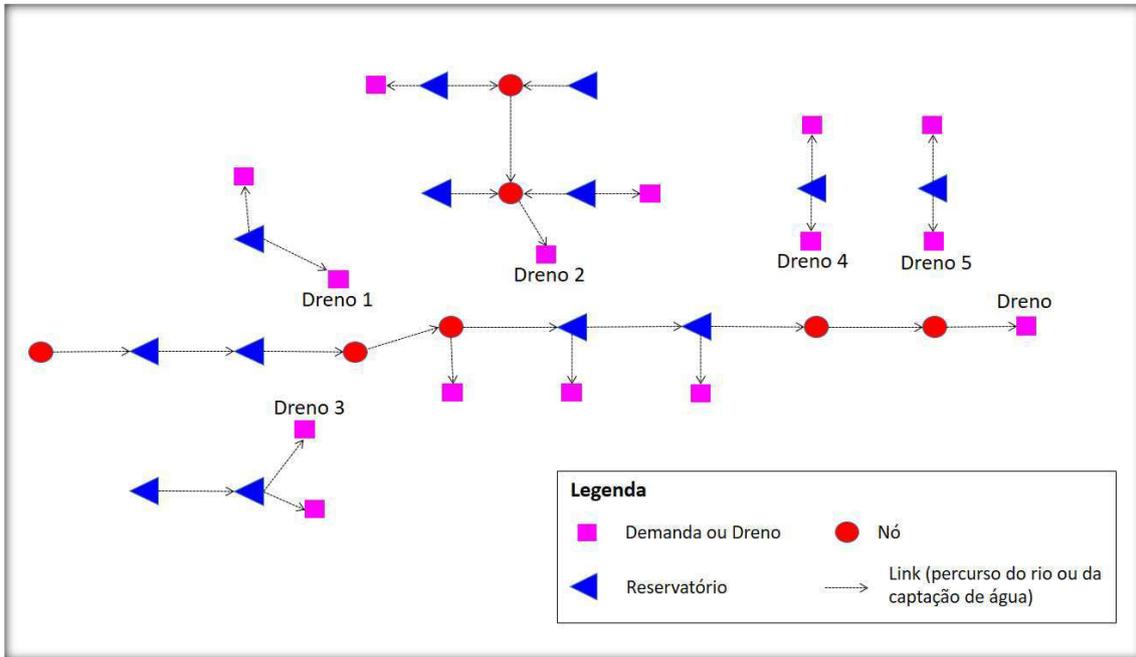
Figura 13 - Exemplo do sistema integrado no software AcquaNet



Fonte: Autor (2023)

A Figura 14 apresenta os sistemas isolados. Observa-se que no sistema isolado há um dreno para cada subsistema. Cada subsistema apresenta um dreno no final, o qual será interligado ao Trecho principal, de acordo com as definições apresentadas na Figura 15.

Figura 14 - Exemplo do sistema isolado no software AcquaNet



Fonte: Autor (2023)

Figura 15 - Definições gerais para os drenos dos subsistemas no AcquaNet

A imagem mostra a janela de configuração de drenos no AcquaNet, com a aba 'Prioridade / Lançamento' selecionada. O campo 'Prioridade da demanda' contém o valor '99'. Abaixo, há uma tabela para configurar o lançamento de água para diferentes nós.

Nome do nó de lançamento	Fração de lançamento
Boqueirao	1,00
	0,00
	0,00

Na base da janela, há botões para 'Ok' e 'Cancelar'.

Fonte: Autor (2023)

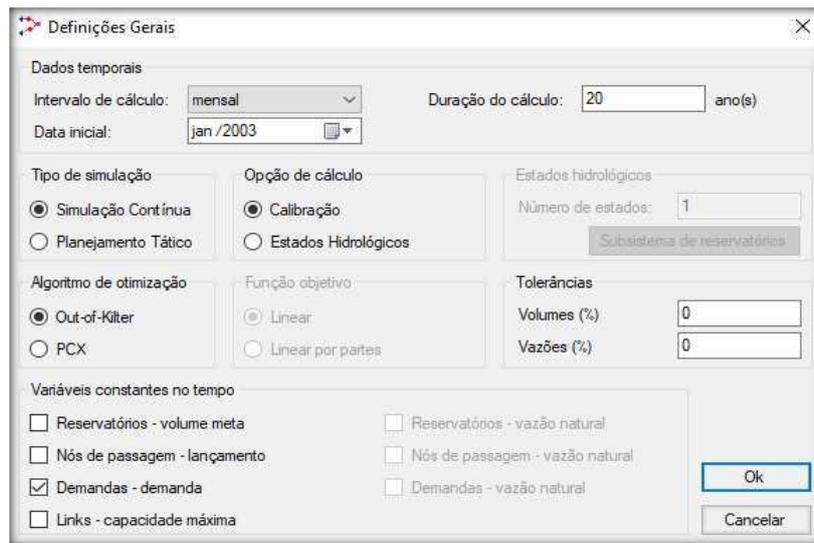
Para cada dreno de subsistemas será necessário realizar as alterações observadas na Figura 15. O valor da prioridade do dreno deverá ser a mais baixa, ou seja, 99. Isso significa que o usuário do sistema quer que ele atenda todas as demais demandas e que o dreno seja a última prioridade, ou seja, só será enviado para o dreno o que for excedente. O sistema mesmo sendo colocado no software como isolado, na realidade ele é integrado, visto que o que verte em um reservatório irá para jusante do mesmo. Por isso, no ícone de “Lançamento” deve-se conectar o dreno a um nó ou mesmo a um reservatório. No caso da Figura 15, o dreno do subsistema da sub bacia do rio Taperoá foi conectado ao reservatório Epitácio Pessoa, com fração de lançamento 1,00, o que significa que 100% do que sair do dreno irá para o reservatório Epitácio Pessoa. Nesse caso, o usuário passa a informação para o software de que o que sobrar, após todo o atendimento das demandas desse determinado subsistema, deverá ir para o reservatório Epitácio Pessoa.

Após a inserção do traçado do sistema, foram realizados os seguintes procedimentos operacionais:

1 – Definições gerais: Ao iniciar uma nova simulação no software AcquaNet, o usuário deve fornecer ao modelo diversas informações que servirão de base para a entrada de dados, o cálculo e os resultados. Para isto, existe a opção de definições gerais (Figura 16), na qual são estabelecidos os dados temporais, o tipo de simulação e as variáveis constantes no tempo.

- Dados temporais:
 - O intervalo de cálculo será mensal;
 - Duração do cálculo (anos);
 - Data inicial.
- Tipo de simulação: contínua
- Variáveis constantes no tempo: demandas

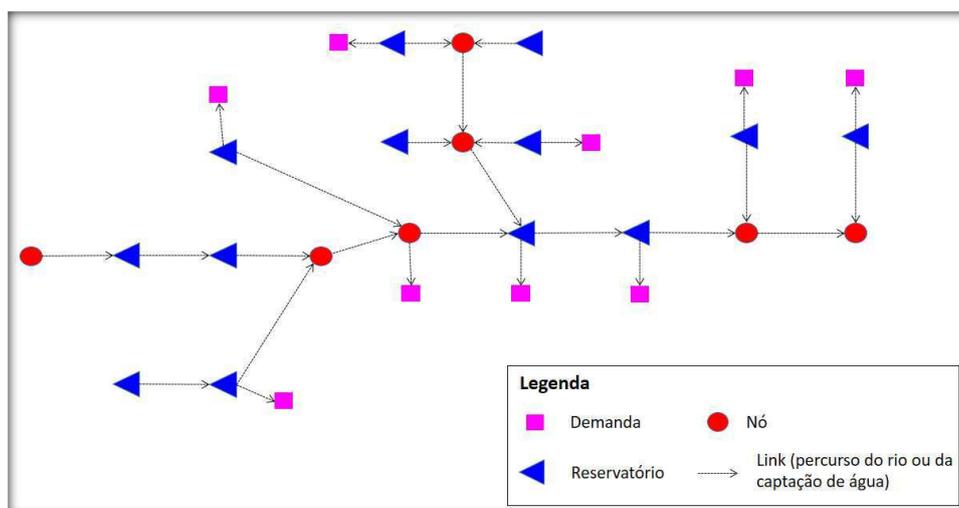
Figura 16 - Tela de definições gerais



Fonte: Autor (2023)

2 – Traçado do sistema: Para o traçado do sistema, utilizam-se as seguintes funções inicialmente: criar nó de passagem e criar link. No caso em estudo, os links representam os rios e a conexão entre rios/reservatórios com as demandas, os nós representam quando há o encontro de rios e o início do sistema com a vazão de lançamento. Após isso, são inseridas as demandas, as quais representam as outorgas do sistema, tanto nos rios quanto nos reservatórios. As demandas podem ser colocadas no traçado a partir da função: criar demanda. Um exemplo de traçado pode ser observado na Figura 17.

Figura 17 - Exemplo de traçado



Fonte: Autor (2023)

3 – Entrada de dados: Para cada elemento inserido no traçado do sistema há a necessidade de inserção de dados. Os dados necessários, são os seguintes:

- **Reservatórios:**
 - Volumes característicos (volume máximo, volume mínimo, volume inicial);
 - Cota x Área x Volume;
 - Vazão natural;
 - Taxa de evaporação;
 - Prioridade: prioridade estabelecida para cada reservatório.
- **Lançamento no sistema:** será a vazão inicial em m³/s para o sistema.
- **Links:**
 - **Entre reservatórios:** representam os rios do sistema. Nesse caso, serão inseridos os dados de coeficiente de perda.
 - **Para as demandas:** a cada nova outorga inserida no sistema deverá ser fixada a capacidade máxima (m³/s) no link da demanda para que não haja uma liberação de vazão maior do que a necessária para o atendimento dessa demanda.
- **Demandas:** as demandas serão utilizadas para representar as outorgas do sistema e os drenos (caracterizando o final do sistema ou subsistema). Para cada demanda será necessário colocar a prioridade de seu atendimento. A inserção das vazões de outorga deverá ser feita pela ordem de chegada das solicitações no órgão concedente.
- **Análise dos resultados:** na etapa de inserção das demandas no sistema, o usuário deverá estabelecer um limite para a “Frequência abaixo da demanda necessária (%)” – valor este apresentado no ícone “resultados” do software (Figura 18) - para os tipos de uso do sistema, como: abastecimento, irrigação, aquicultura. Esses usos serão avaliados a cada nova inserção de vazão de outorga em uma demanda.

Figura 18 - Exemplo de resumo das demandas

Demanda	Tempo máximo abaixo da demanda necessária (mês(es))	Frequência abaixo da demanda necessária (%)	Volume acumulado dos déficits (Mm³)	Demanda média necessária (m³/s)	Vazão média fornecida (m³/s)	Vazão fornecido/demanda necessária (%)
Abastecimento1	0	0,00	0,000	0,050	0,050	10
Abastecimento2	0	0,00	0,000	0,900	0,900	10
Abastecimento3	0	0,00	0,000	1,200	1,200	10
Abastecimento4	0	0,00	0,000	0,030	0,030	10
Abastecimento5	3	1,67	0,962	0,100	0,098	98
Abastecimento6	0	0,00	0,000	0,090	0,090	10
Abastecimento7	0	0,00	0,000	0,150	0,150	10
Aquicultura1	0	0,00	0,000	1,000	1,000	10
Dreno	0	0,00	0,000	0,000	16,006	999
Irrigacao1	6	25,83	18,548	0,134	0,105	78
Irrigacao2	0	0,00	0,000	0,020	0,020	10
Irrigacao2	0	0,00	0,000	0,020	0,020	10
Irrigacao3	0	0,00	0,000	0,044	0,044	10
Irrigacao4	0	0,00	0,000	0,300	0,300	10

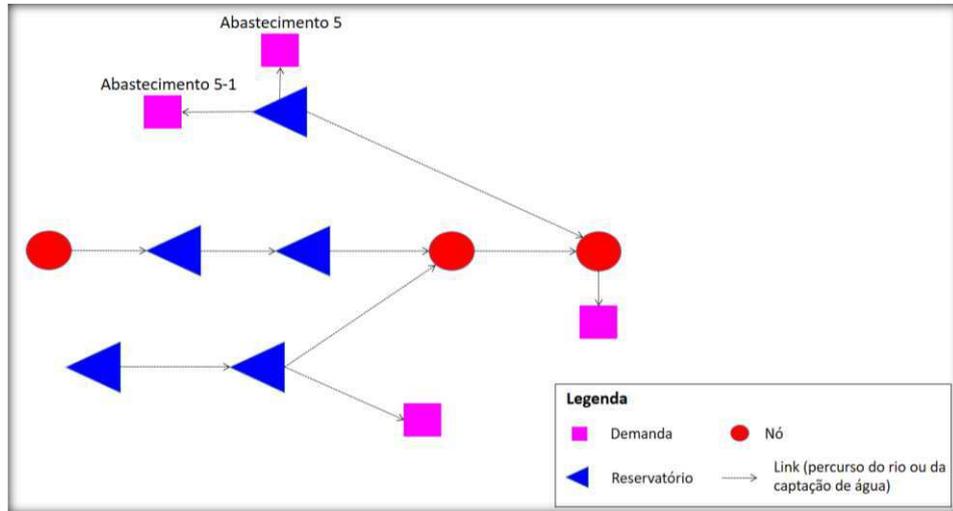
Fonte: Autor (2023)

Por exemplo, se o usuário estabeleceu o limite de 10% (valor apresentado na coluna “Frequência abaixo da demanda necessária (%)”) para irrigação, ou seja, 90% de confiabilidade, a última outorga inserida como demanda, a qual impactou nos resultados e passou do limite de 10% estabelecido, não será atendida. No exemplo da Figura 18, a Irrigação 1 apresentou “Frequência abaixo da demanda necessária (%)” no valor de 25,83%, valor acima do estabelecido pelo usuário para esse uso. Dessa forma, essa outorga específica não será concedida ou, a critério do usuário, poderá ser ofertado ao solicitante desta outorga não concedida, um valor, no qual não haja alteração maior do que os 10% estabelecidos, ficando a critério do solicitante aceitar ou não. Sendo assim, no traçado do sistema no software, deverá ser retirada a vazão da outorga que falhou acima do estabelecido e inserir a vazão máxima que poderá ser concedida.

Observa-se que no exemplo da Figura 18, o Abastecimento 5 apresentou 1,67% de “Frequência abaixo da demanda necessária (%)”. Nesse caso, se o usuário estabeleceu o limite para abastecimento de até 5%, ou seja, 95% de confiabilidade, a outorga poderá ser concedida. Quando o usuário inserir uma nova vazão de outorga no sistema e houver alteração da “Frequência abaixo da demanda necessária (%)”, mesmo que dentro dos limites estabelecidos, o usuário deverá separar a outorga mais recente do restante das vazões de outorga daquele reservatório ou rio, como pode ser visto na Figura 19. Isso se

faz necessário para que seja avaliado o impacto dessa nova vazão de outorga (Abastecimento 5-1) nela própria e nas vazões de outorgas anteriores, já existentes no sistema, como pode ser observado na Figura 20.

Figura 19 - Separação da nova vazão de outorga da vazão das outorgas anteriores



Fonte: Autor (2023)

Figura 20 - Impacto de uma nova vazão em outra já existente no sistema

Demandas	Tempo máximo abaixo da demanda necessária (mês(es))	Frequência abaixo da demanda necessária (%)	Volume acumulado dos déficits (Mm ³)	Demanda média necessária (m ³ /s)	Vazão média fornecida (m ³ /s)	Vazão fornecida/demanda necessária
Abastecimento1	0	0,00	0,000	0,050	0,050	10
Abastecimento2	0	0,00	0,000	0,900	0,900	10
Abastecimento3	0	0,00	0,000	1,200	1,200	10
Abastecimento4	0	0,00	0,000	0,030	0,030	10
Abastecimento5	3	1,67	0,336	0,040	0,039	96
Abastecimento5-1	3	1,67	0,631	0,060	0,059	98
Abastecimento6	0	0,00	0,000	0,090	0,090	10
Abastecimento7	0	0,00	0,000	0,150	0,150	10
Aquicultura1	0	0,00	0,000	1,000	1,000	10
Dreno	0	0,00	0,000	0,000	16,006	996
Irrigacao1	6	25,83	18,548	0,134	0,105	78
Irrigacao2	0	0,00	0,000	0,020	0,020	10
Irrigacao2	0	0,00	0,000	0,020	0,020	10
Irrigacao3	0	0,00	0,000	0,044	0,044	10
Irrigacao4	0	0,00	0,000	0,300	0,300	10

Fonte: Autor (2023)

A Figura 20 mostra que após a inserção da outorga de nome “Abastecimento5-1”, a mesma apresentou o valor de 1,67 na “Frequência abaixo da demanda necessária (%)”. É importante realizar essa separação de links de demanda para que possa ser observado o impacto da nova outorga nas anteriores, além de mostrar a falha no seu próprio atendimento.

4.2.3.1 Informações comuns aos cenários

Definições gerais:

- Intervalo de cálculo: mensal;
- Data inicial: janeiro de 2003;
- Duração do cálculo: 20 anos;
- Tipo de simulação: simulação contínua;
- Opção de cálculo: calibração;
- Variáveis constantes no tempo: demandas.

Ordem de prioridade estabelecida:

- Abastecimento público: 1;
- Aquicultura: 10
- Irrigação: 10;
- Reservatórios: 90;
- Drenos: 99.

Perdas nos links:

Perda de 6% para os links que representam os rios.

Limites para falhas no atendimento das demandas:

- Abastecimento (outorgas e adutoras): 5%;
- Aquicultura: 10%;
- Irrigação (outorgas e perímetros): 10%.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CENÁRIOS C-AINMÉD, C-AINMÍN E C-AINR

Esses cenários consideram as outorgas atuais, o traçado integrado e variam com relação as vazões do PISF (média, mínima e real).

Durante a simulação realizada nos três cenários, ao inserir a outorga de aquicultura de número 777 no valor de 0,035m³/s no rio Una, os limites estabelecidos foram superados, o que significa que essa determinada outorga não foi concedida. O valor máximo concedido para o rio Una foi de 0,004m³/s, ou seja, apenas 11,42% da vazão solicitada. Sendo assim, a partir da outorga de número 777 no rio Una, três solicitantes ficaram sem outorga no referido rio, totalizando uma vazão de 0,145m³/s. Apenas o solicitante da outorga de irrigação de número 899 pode ser atendido, pois seu requerimento de vazão é de 0,002m³/s, valor abaixo do que pode ser fornecido na localidade.

Os cenários C-AInMéd (cenário atual, integrado e com vazão média), C-AInMín (cenário atual, integrado e com vazão mínima) e C-AInR (cenário atual, integrado e com vazão real) apresentaram algumas falhas de atendimento nas outorgas no final da simulação, após a inserção de todas as outorgas, no entanto, os resultados da “Frequência abaixo da demanda necessária (%)” para todas as outorgas nos três cenários ficaram dentro dos limites estabelecidos no tópico 4.2.3.1, como pode ser visto nos Apêndices A, B e C. Mesmo esses cenários sendo integrados, foi analisado o sistema por partes para observar as perdas em cada subsistema (Tabelas 11, 12 e 13).

Tabela 11 - Indicador Confiabilidade e perdas para o cenário C-AInMéd

Subsistema	Indicador	Perdas			TOTAL (m ³ /s)
	Confiabilidade (%)	Reservatórios (m ³ /s)	Rios (m ³ /s)	Dreno (m ³ /s)	
Trecho principal	98,66	3,297	1510,769	7,829	1521,895
Sumé	99,17	0,465	24,102	-	24,567
Santo Antônio - Cordeiro	99,44	0,708	26,665	-	27,373
José Rodrigues	97,49	0,125	2,499	-	2,624
Taperoá	99,86	0,944	157,831	-	158,775
São Salvador	93,248	0,101	17,274	-	17,375
SISTEMA	98,661	5,643	1739,14	7,829	1752,612

Fonte: Autor (2023)

Tabela 12 - Indicador Confiabilidade e perdas para o cenário C-AInMín

Subsistema	Indicador	Perdas			TOTAL (m³/s)
	Confiabilidade (%)	Reservatórios (m³/s)	Rios (m³/s)	Dreno (m³/s)	
Trecho principal	100	3,257	1449,682	7,669	1460,608
Sumé	97,08	0,450	24,316	-	24,766
Santo Antônio - Cordeiro	99,443	0,709	26,671	-	27,380
José Rodrigues	96,807	0,122	2,611	-	2,733
Taperoá	99,86	0,941	158,071	-	159,012
São Salvador	93,248	0,101	17,274	-	17,375
SISTEMA	98,553	5,582	1678,625	7,669	1691,876

Fonte: Autor (2023)

Tabela 13 – Indicador Confiabilidade e perdas para o cenário C-AInR

Subsistema	Indicador	Perdas			TOTAL (m³/s)
	Confiabilidade (%)	Reservatórios (m³/s)	Rios (m³/s)	Dreno (m³/s)	
Trecho principal	99,745	3,119	1321,683	7,279	1332,081
Sumé	96,25	0,448	24,372	-	24,820
Santo Antônio - Cordeiro	98,333	0,699	27,027	-	27,726
José Rodrigues	95,973	0,122	2,619	-	2,741
Taperoá	97,5	0,925	159,085	-	160,010
São Salvador	93,334	0,101	17,278	-	17,379
SISTEMA	98,051	5,417	1552,064	7,279	1564,760

Fonte: Autor (2023)

Realizando-se uma comparação entre esses três cenários, observa-se que o cenário C-AInMéd apresentou maiores perdas hídricas, visto que ele recebeu uma maior vazão na entrada do sistema, a vazão média do PISF. O mesmo ocorreu com os dois outros cenários, apresentando a menor perda no cenário C-AInR, o qual recebeu a vazão real do PISF, ou seja, a menor vazão. Dessa forma, o cenário C-AInMéd apresentou maior perda pelo Dreno por ter maior vazão em relação aos outros dois cenários.

Com relação ao indicador confiabilidade, o cenário C-AInMéd, de maior vazão, apresentou um maior percentual em comparação com os outros dois cenários. As demandas no sistema são as mesmas para os três cenários, dessa forma, quanto maior a vazão de entrada no sistema, mais facilmente as demandas serão atendidas, aumentando a confiabilidade.

As perdas por evaporação nos reservatórios apresentaram a tendência de diminuição juntamente com o decaimento das vazões do PISF, para a maioria dos

subsistemas apresentados, exceto o subsistema São Salvador. No entanto, para os rios houve o inverso em alguns subsistemas. Como se pode observar nas Tabelas 11, 12 e 13, ocorreu aumento nas perdas nos rios para os subsistemas Sumé, Santo Antônio – Cordeiro, José Rodrigues e Taperoá nos cenários com menores vazões. Isso se deve ao fato de que os reservatórios desses subsistemas precisaram liberar mais água para os rios/trechos de rios a jusante para atendimento das demandas do Trecho principal, que vai do reservatório de Poções até o mar. O Trecho principal acompanhou a tendência de diminuição das perdas no rio conforme as menores liberações de vazão do PISF, pois nesse trecho é onde percorrem as águas advindas da transposição. O subsistema São Salvador não apresentou muita diferença nas perdas entre os cenários, visto que ele se comporta de maneira diferente por estar no final do sistema e por não haver demandas a jusante para alterar o seu comportamento.

5.2 CENÁRIOS C-AISMÉD, C-AISMÍN E C-AISR

Esses cenários consideram as outorgas atuais, o traçado isolado e variam com relação as vazões do PISF (média, mínima e real).

Os três cenários apresentaram o mesmo problema dos cenários anteriores após a inserção da outorga de aquicultura de número 777 no valor de 0,035m³/s no rio Uma. Sendo assim, três outorgas não foram concedidas nos cenários C-AIsMéd, C-AIsMín e C-AIsR.

Isso mostra que o subsistema São Salvador não altera seu comportamento em nenhum cenário apresentado, seja isolado ou integrado. Apresenta as mesmas falhas para todos os cenários, visto que o reservatório São Salvador só contribui com as demandas do próprio reservatório e do rio Una a jusante. Ele não contribui com o restante do sistema, dessa forma, pode ser operado a parte.

Os cenários C-AIsMéd (cenário atual, isolado e com vazão média), C-AIsMín (cenário atual, isolado e com vazão mínima) e C-AIsR (cenário atual, isolado e com vazão real) apresentaram algumas falhas de atendimento nas outorgas no final da simulação, no entanto, os resultados da “Frequência abaixo da demanda necessária (%)” para todas as outorgas nos três cenários ficaram dentro dos limites estabelecidos no tópico 4.2.3.1, como pode ser visto nos Apêndices D, E e F.

As Tabelas 14, 15 e 16 apresentam as perdas hídricas para esses cenários e sua confiabilidade. Devido aos cenários serem isolados, haverá mais de um dreno. Apesar de os drenos dos subsistemas não apresentarem de fato uma perda, visto que o excedente irá 100% para jusante, serão apresentados nas tabelas seguintes para que seja possível analisar a vazão liberada pelos drenos dos subsistemas em cada cenário, no entanto, como não são perdas efetivas para o sistema, só será computado nas perdas totais o dreno do Trecho principal.

Tabela 14 - Indicador e perdas para o cenário C-AIsMéd

Subsistema	Indicador	Perdas			TOTAL (m ³ /s)
	Confiabilidade (%)	Reservatórios (m ³ /s)	Rios (m ³ /s)	Dreno (m ³ /s)	
Trecho principal	99,399	3,097	1017,242	4,438*	1024,777
Sumé	100,000	0,537	23,053	1,504	23,59
Santo Antônio - Cordeiro	99,443	0,708	26,665	1,223	27,373
José Rodrigues	100,000	0,138	2,062	0,042	2,2
Taperoá	100,000	0,959	157,064	2,347	158,023
São Salvador	93,248	0,101	17,274	0,483	17,375
SISTEMA	98,814	5,542	1243,36	4,438	1253,338

Fonte: Autor (2023)

* perda efetiva do sistema

Tabela 15 - Indicador e perdas para o cenário C-AIsMín

Subsistema	Indicador	Perdas			TOTAL (m ³ /s)
	Confiabilidade (%)	Reservatórios (m ³ /s)	Rios (m ³ /s)	Dreno (m ³ /s)	
Trecho principal	98,416	3,039	958,864	4,295*	966,198
Sumé	100,000	0,537	23,053	1,504	23,59
Santo Antônio - Cordeiro	99,443	0,708	26,665	1,223	27,373
José Rodrigues	100,000	0,138	2,062	0,042	2,2
Taperoá	100,000	0,958	157,066	2,347	158,024
São Salvador	93,248	0,101	17,274	0,483	17,375
SISTEMA	98,472	5,485	1184,984	4,295	1194,76

Fonte: Autor (2023)

* perda efetiva do sistema

Tabela 16 - Indicador e perdas para o cenário C-AIsR

Subsistema	Indicador	Perdas			TOTAL (m³/s)
	Confiabilidade (%)	Reservatórios (m³/s)	Rios (m³/s)	Dreno (m³/s)	
Trecho principal	96,019	2,880	870,698	4,291*	877,869
Sumé	100,000	0,537	23,053	1,504	23,59
Santo Antônio - Cordeiro	99,443	0,708	26,665	1,223	27,373
José Rodrigues	100,000	0,138	2,062	0,042	2,2
Taperoá	100,000	0,958	157,067	2,347	158,025
São Salvador	93,248	0,101	17,274	0,483	17,375
SISTEMA	96,625	5,326	1096,819	4,291	1106,432

Fonte: Autor (2023)

* perda efetiva do sistema

Realizando uma comparação entre esses três cenários, observa-se que o cenário C-AIsMéd apresentou maiores perdas hídricas, visto que ele recebeu uma maior vazão na entrada do sistema, a vazão média do PISF. O mesmo ocorreu com os dois outros cenários, apresentando a menor perda o cenário C-AIsR, o qual recebeu a vazão real do PISF, ou seja, a menor vazão. Dessa forma, o cenário C-AIsMéd apresentou maior perda pelo Dreno por ter maior vazão em relação aos outros dois cenários.

Com relação ao indicador confiabilidade, o cenário C-AIsMéd, de maior vazão, apresentou um maior percentual em comparação aos outros dois. As outorgas no sistema são as mesmas para os três cenários, dessa forma, quanto maior a vazão de entrada no sistema, mais facilmente as outorgas serão atendidas, aumentando a confiabilidade.

É importante mencionar que a partir desses três cenários foi observada uma alteração com relação ao indicador de confiabilidade. Se forem comparados os três cenários pode-se notar que o cenário de menor vazão isolado (C-AIsR) apresentou um decaimento considerável na confiabilidade não apenas devido à sua menor vazão, visto que nos cenários integrados C-AInMéd, C-AInMín e C-AInR as confiabilidades diminuíram com a vazão mas todos ficaram na faixa de 98%, o que não ocorreu com os cenários isolados, onde o cenário C-AIsR apresentou a confiabilidade na faixa dos 96%, enquanto que os cenários C-AIsMéd e C-AIsMín ficaram na faixa dos 98%. Isso acontece quando é preciso colocar vários links de demanda para observar o impacto de uma nova outorga inserida na vazão de outorga anterior. Como o cenário C-AIsR é o de menor vazão, o sistema apresentou maiores falhas ao inserir as outorgas. Sendo assim, foi o

cenário que apresentou maior quantidade de links para a inserção das vazões requeridas de outorgas no sistema, como pode ser observado no Apêndice F.

As perdas por evaporação nos reservatórios do Trecho principal (Poções – mar) nos três cenários apresentaram a tendência de diminuição juntamente com o decaimento das vazões do PISF. Os demais subsistemas permaneceram com as mesmas perdas independentemente da vazão de entrada. Isso se deve ao fato de que a configuração do sistema está isolada, significando que os subsistemas Santo Antônio – Cordeiro, José Rodrigues, Sumé, Taperoá e São Salvador só irão contribuir para o Trecho principal após o atendimento de todas as suas demandas, saindo pelos seus drenos apenas o excedente. Esse comportamento se repete para os rios. O Trecho principal acompanhou a tendência de diminuição das perdas no rio e nos reservatórios conforme as menores liberações de vazão do PISF, pois nesse trecho é onde percorrem as águas advindas da transposição.

Realizando uma comparação entre os cenários C-AIsMéd, C-AIsMín e C-AIsR com os cenários C-AInMéd, C-AInMín e C-AInR, os quais apresentam a mesma tendência de diminuição de vazões e diferem apenas na configuração do sistema, sendo isolado ou integrado, observa-se que os cenários integrados apresentam um maior valor nas perdas hídricas.

Como observado no fluxograma do estudo de caso (Figura 5), foram propostos nos cenários a diferenciação no traçado do sistema (isolado ou integrado) devido ao fato de apresentarem diferenças nos resultados da simulação. Constatou-se que os cenários isolados apresentaram maior eficácia, visto que com menores perdas hídricas para esse traçado é possível conceder mais outorgas. Nesse caso, com os resultados dos cenários C-AIsMéd, C-AIsMín e C-AIsR realizou-se uma comparação com a metodologia usualmente aplicada, a vazão referencial.

Os dados de vazão referencial para os reservatórios em estudo foram coletados no Plano Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba (RF-02 B - Diagnóstico Atual dos Recursos Hídricos). Na Tabela 17 observa-se a quantidade de outorgas que não seriam concedidas das 921 outorgas vigentes através da vazão referencial. No Estado da Paraíba utiliza-se 90% da Q90 para concessão de outorgas.

Tabela 17 - Comparação da quantidade de outorgas não concedidas através da vazão referencial e da metodologia proposta

Reservatórios	Vazão regularizada (L/s)	Vazão não atendida pela vazão regularizada (L/s)	Quantidade de outorgas não concedidas pela vazão regularizada	Quantidade de outorgas não concedidas pela metodologia da tese para os cenários atuais isolados
Poções	92,25	0	0	0
Camalaú	224,17	371,5	1 (abastecimento)	0
Epitácio Pessoa	2530,08	0	0	0
Acauã	2175,67	1855,6	16 (1 abastecimento, 8 aquicultura, 7 irrigação)	0
Santo Antônio	199,69	0	0	0
Cordeiro	639,56	0	0	0
Sumé	463,88	0	0	0
José Rodrigues	96,47	0	0	0
São Salvador	249,21	43,5	1 (irrigação)	3 (irrigação)
Taperoá e Mucutu	437,65	0	0	0
Soledade e Serra Branca	132,29	0	0	0

Fonte: Autor (2023)

Para obter os resultados da Tabela 17, realizou-se um estudo do sistema hídrico, levando-se em consideração as outorgas imediatamente a jusante de cada reservatório ou reservatórios. Ou seja, foram utilizadas a vazão referencial para cada reservatório e observado o atendimento das outorgas imediatamente a jusante dos mesmos. Por exemplo, as vazões regularizadas dos reservatórios de Taperoá e Mucutu foram somadas para verificar o atendimento da outorga no rio a jusante dos mesmos. Da mesma forma, as vazões regularizadas dos reservatórios Soledade e Serra Branca II foram somadas para atendimento das 6 outorgas no rio a jusante dos mesmos. Além das outorgas existentes nos trechos de rios a jusante, foi levada em consideração a perda de 6% nos rios. Com relação as outorgas existentes nos próprios reservatórios, considerou-se a vazão regularizada dos mesmos para atendimento delas.

As vazões excedentes liberadas a jusante foram consideradas como vazão de entrada nos reservatórios, como, por exemplo, o excedente do reservatório Poções foi considerado como vazão de entrada no reservatório Epitácio Pessoa e assim sucessivamente.

Dessa forma, foi possível realizar a comparação da quantidade de outorgas não atendidas pela metodologia de vazão referencial e pela metodologia desenvolvida nessa tese. Observa-se que a metodologia aqui apresentada se mostrou capaz de atender um maior número de outorgas.

É importante salientar que a vantagem da metodologia proposta não se limita apenas ao atendimento de mais outorgas, bem como, é capaz de mostrar o quanto cada outorga pode impactar em outorgas já concedidas, a quantidade de água que é perdida no sistema e que poderia ser melhor alocada para mais concessão de outorgas, apresenta também a possibilidade de observar quantitativamente o quanto cada subsistema e o sistema integrado podem suportar sem comprometimento da funcionalidade dos mesmos e dos outorgados existentes.

Como observado, a quantidade de outorgas não concedidas através da vazão referencial é muito superior a quantidade de outorgas não concedidas pela metodologia aqui proposta. Por meio da vazão referencial, muitas outorgas não foram atendidas no reservatório Acauã, incluindo outorgas de uso de abastecimento público, irrigação e aquicultura. Além disso, não foi possível atender a outorga de abastecimento público no reservatório Camalaú. A metodologia da tese conseguiu atender essas outorgas e apresentou menos outorgas concedidas no reservatório São Salvador. Isso mostra que a concessão de outorgas por meio da vazão referencial para o referido reservatório está acima da capacidade de atendimento do mesmo. Dessa forma, conflitos serão gerados devido ao não atendimento das outorgas existentes na localidade.

5.3 CENÁRIOS C-FINMÉD E C-FINMÍN

Esses cenários consideram as outorgas futuras, o traçado integrado e variam com relação as vazões do PISF (média e mínima).

Durante a simulação realizada nos dois cenários, ao inserir a outorga de irrigação de número 669 no valor de $0,111\text{m}^3/\text{s}$ no rio Una, os limites estabelecidos foram superados, o que significa que essa determinada outorga não foi concedida. O valor máximo concedido para o rio Una foi de $0,011\text{m}^3/\text{s}$, ou seja, apenas 9,9% da vazão solicitada. Sendo assim, a partir da outorga de número 669 no rio Una, quatro solicitantes ficaram sem outorga no referido rio, totalizando uma vazão de $0,258\text{m}^3/\text{s}$. Apenas o

solicitante da outorga de irrigação de número 899 poderá ser atendido, pois sua solicitação de vazão é de 0,002m³/s.

Os cenários C-FInMéd (cenário futuro, integrado e com vazão média) e C-FInMín (cenário futuro, integrado e com vazão mínima) apresentaram algumas falhas de atendimento após a inserção das demandas atuais da AESA e das demandas das adutoras futuras, no entanto, os resultados da “Frequência abaixo da demanda necessária (%)” para todas as demandas nos dois cenários ficaram dentro dos limites estabelecidos, como pode ser visto nos Apêndices G e H.

Em comparação com os cenários C-AInMéd, C-AInMín, C-AInR, C-AIsMéd, C-AIsMín e C-AIsR, observa-se que os cenários C-FInMéd e C-FInMín apresentaram uma piora no atendimento no rio Una, que faz parte do subsistema São Salvador. Isso se deve ao fato de que as outorgas de abastecimento aumentaram no reservatório São Salvador, diminuindo a possibilidade de atendimento das outorgas a jusante no rio Una.

Após a inserção dos perímetros irrigados, as demandas foram atendidas apresentando a “Frequência abaixo da demanda necessária (%)” dentro dos limites estabelecidos para os dois cenários. Na Tabela 18, observa-se que o perímetro de Sumé apresentou falha, mas foi atendido por estar abaixo dos 10% estabelecidos. Na Tabela 19, observa-se que todos os perímetros apresentaram falhas, mas foram atendidos.

Tabela 18 - Atendimento dos perímetros irrigados para o cenário C-FInMéd

Demandas	Frequência abaixo da demanda necessária (%)	Confiabilidade (1-falhas)
Perímetro do Congo	0	100
Perímetro de Poções	0	100
Perímetro de Sumé	5,83	94,17
Perímetro de Vereda Grande	0	100

Fonte: Autor (2023)

Tabela 19 - Atendimento dos perímetros irrigados para o cenário C-FInMín

Demandas	Frequência abaixo da demanda necessária (%)	Confiabilidade (1-falhas)
Perímetro do Congo	0,42	99,58
Perímetro de Sumé	6,67	93,33
Perímetro de Vereda Grande	0,42	99,58
Perímetro de Poções	0,42	99,58

Fonte: Autor (2023)

Após os perímetros irrigados, foi inserida a vazão de projeto do canal Acauã-Araçagi, de 10 m³/s. Com esse valor, observa-se nos Apêndices I e J que a maior parte das demandas fica fora dos limites estabelecidos para a “Frequência abaixo da demanda necessária (%)”, comprovando que essa vazão é inviável, principalmente nos cenários futuros que consideram aumento de outorgas. Não sendo admitida a vazão de 10m³/s, foi inserida uma vazão máxima (Apêndices K e L) de atendimento para o canal Acauã-Araçagi, que não permitisse que as demais demandas ficassem fora dos limites estabelecidos.

Para o cenário C-FInMéd a vazão máxima liberada para o canal foi de 0,82m³/s, ou seja, 8,2% da vazão de projeto. Para o cenário C-FInMín a vazão máxima liberada para o canal foi de 0,089m³/s, ou seja, apenas 0,89% da vazão de projeto. Essa diferença se dá pela vazão de entrada do PISF no sistema, para o cenário C-FInMín essa vazão é a mínima.

Após a simulação realizada para os dois cenários futuros C-FInMéd e C-FInMín foi calculado o indicador de confiabilidade de atendimento das outorgas para cada subsistema e as perdas hídricas ocorridas. As Tabelas 20 e 21 apresentam as perdas hídricas para esses cenários e sua confiabilidade.

Tabela 20 - Indicador e perdas para o cenário C-FInMéd

Subsistema	Indicador	Perdas			TOTAL (m³/s)
	Confiabilidade (%)	Reservatórios (m³/s)	Rios (m³/s)	Dreno (m³/s)	
Trecho principal	98,466	3,052	1431,033	7,112	1441,197
Sumé	93,960	0,416	23,822	-	24,238
Santo Antônio - Cordeiro	98,057	0,746	28,149	-	28,895
José Rodrigues	94,723	0,121	2,653	-	2,774
Taperoá	95,833	0,911	161,184	-	162,095
São Salvador	94,27	0,102	16,017	-	16,119
SISTEMA	97,292	5,351	1662,858	7,112	1675,321

Fonte: Autor (2023)

Tabela 21 - Indicador e perdas para o cenário C-FInMín

Subsistema	Indicador	Perdas			TOTAL (m³/s)
	Confiabilidade (%)	Reservatórios (m³/s)	Rios (m³/s)	Dreno (m³/s)	
Trecho principal	97,659	2,972	1375,954	6,757	1385,683
Sumé	97,50	0,424	25,263	-	25,687
Santo Antônio - Cordeiro	96,667	0,732	28,503	-	29,235
José Rodrigues	92,777	0,114	2,896	-	3,010
Taperoá	94,723	0,900	161,708	-	162,608
São Salvador	94,27	0,102	16,017	-	16,119
SISTEMA	98,321	5,247	1610,341	6,757	1622,345

Fonte: Autor (2023)

Realizando uma comparação entre esses dois cenários, observa-se que o cenário C-FInMéd apresentou maiores perdas hídricas no sistema, visto que ele recebeu uma maior vazão na entrada do sistema, a vazão média do PISF. Dessa forma, o cenário C-FInMéd apresentou maior perda pelo Dreno por ter maior vazão em relação ao cenário C-FInMín.

Com relação ao indicador confiabilidade, o cenário C-FInMín, apresentou maior percentual, devido ao cenário C-FInMéd ter apresentado um link de demanda a mais (Aqui1-1) do que no cenário de vazão mínima.

As perdas por evaporação nos reservatórios para os dois cenários apresentaram a tendência de diminuição juntamente com o decaimento das vazões do PISF, para a maioria dos subsistemas apresentados. No entanto, para os rios, houve o inverso em alguns subsistemas. Ocorreu aumento nas perdas nos rios para os subsistemas Sumé, Santo Antônio – Cordeiro, José Rodrigues e Taperoá nos cenários com menores vazões.

Isso se deve ao fato de que os reservatórios desses subsistemas precisaram liberar mais água para os rios/trechos de rios a jusante para atendimento das demandas do Trecho principal, que vai do reservatório de Poções até o mar. O Trecho principal acompanhou a tendência de diminuição das perdas no rio conforme as menores liberações de vazão do PISF pois, nesse trecho é onde percorrem as águas advindas da transposição. O subsistema São Salvador não apresentou muita diferença nas perdas entre os cenários, visto que ele se comporta de maneira diferente por estar no final do traçado e não haver demandas a jusante para alterar o seu comportamento.

5.4 CENÁRIOS C-FISMÉD E C-FISMÍN

Esses cenários consideram as outorgas futuras, o traçado isolado e variam com relação as vazões do PISF (média e mínima).

Da mesma forma que ocorreu nos cenários C-FInMéd e C-InMín, durante a simulação realizada nos dois cenários C-FIsMéd e C-FIsMín, ao inserir a outorga de irrigação de número 669 no valor de 0,111 m³/s no rio Una, os limites estabelecidos foram superados, fazendo com que quatro solicitantes ficassem sem a concessão da outorga.

Os cenários C-FIsMéd (cenário futuro, isolado e com vazão média) e C-FIsMín (cenário futuro, isolado e com vazão mínima) apresentaram algumas falhas de atendimento após a inserção das demandas atuais da AESA e das outorgas das adutoras futuras, no entanto, os resultados da “Frequência abaixo da demanda necessária (%)” para todas as outorgas nos dois cenários ficaram dentro dos limites estabelecidos, como pode ser visto nos Apêndices M e N.

Em comparação com os cenários C-AInMéd, C-AInMín, C-AInR, C-AIsMéd, C-AIsMín e C-AIsR, observa-se que os cenários C-FIsMéd e C-FIsMín, assim como os cenários C-FInMéd e C-FInMín, também apresentaram uma piora no atendimento no rio Una, que faz parte do subsistema São Salvador. Isso se deve ao fato de que as outorgas de abastecimento aumentaram no reservatório São Salvador, diminuindo a possibilidade de atendimento das demandas a jusante, no rio Una.

Após a inserção dos perímetros irrigados, as outorgas foram atendidas apresentando a “Frequência abaixo da demanda necessária (%)” dentro dos limites estabelecidos para os dois cenários. Nas Tabelas 22 e 23, observa-se que apenas o perímetro de Sumé não

apresentou falhas. Embora os demais perímetros terem apresentado falhas nos dois cenários, estas estão dentro dos limites estabelecidos.

Tabela 22 - Atendimento dos perímetros irrigados para o cenário C-FIsMéd

Demandas	Frequência abaixo da demanda necessária (%)	Confiabilidade (1-falhas)
Perímetro do Congo	2,5	97,5
Perímetro de Poções	2,5	97,5
Perímetro de Sumé	0	100
Perímetro de Vereda Grande	4,17	95,83

Fonte: Autor (2023)

Tabela 23 - Atendimento dos perímetros irrigados para o cenário C-FIsMín

Demandas	Frequência abaixo da demanda necessária (%)	Confiabilidade (1-falhas)
Perímetro do Congo	4,58	95,42
Perímetro de Poções	4,58	95,42
Perímetro de Sumé	0	100
Perímetro de Vereda Grande	5,83	94,17

Fonte: Autor (2023)

Após os perímetros irrigados, foi inserida a vazão de projeto do canal Acauã-Araçagi, de 10m³/s. Com esse valor, observa-se nos Apêndices O e P que a maior parte das outorgas fica fora dos limites estabelecidos para a “Frequência abaixo da demanda necessária (%)”, comprovando que essa vazão é inviável, principalmente nos cenários futuros que consideram aumento de outorgas. Não sendo admitida a vazão de 10m³/s, foi inserida uma vazão máxima (Apêndices Q e R) para o canal Acauã-Araçagi que não deixasse as demais demandas fora dos limites estabelecidos.

Para o cenário C-FIsMéd a vazão máxima liberada para o canal foi de 1,294m³/s, ou seja, 12,94% da vazão de projeto (Apêndice Q). Para o cenário C-FIsMín a vazão máxima liberada para o canal foi de 0,56m³/s, ou seja, apenas 5,6% da vazão de projeto (Apêndice R). Essa diferença se dá pela vazão de entrada do PISF no sistema, para o cenário C-FIsMín essa vazão é a mínima.

Realizando uma comparação entre os cenários C-FInMéd e C-FInMín com os cenários C-FIsMéd e C-FIsMín, todos com demandas futuras, observa-se que o atendimento do canal Acauã-Araçagi foi maior para os cenários isolados. Isso mostra que a melhor configuração do sistema pelo software AcquaNet se dá por meio do desmembramento, fazendo com que haja mais possibilidade de atendimento das demandas.

Após a simulação realizada para os dois cenários futuros C-FIsMéd e C-FIsMín, foi calculado o indicador de confiabilidade de atendimento das demandas para cada subsistema e as perdas hídricas ocorridas. As Tabelas 24 e 25, apresentam as perdas hídricas para esses cenários e sua confiabilidade.

Tabela 24 - Indicador e perdas para o cenário C-FIsMéd

Subsistema	Indicador	Perdas			TOTAL (m ³ /s)
	Confiabilidade (%)	Reservatórios (m ³ /s)	Rios (m ³ /s)	Dreno (m ³ /s)	
Trecho principal	94,847	2,734	972,113	3,947*	978,794
Sumé	100,000	0,525	22,096	1,442	22,621
Santo Antônio - Cordeiro	100,000	0,781	27,120	1,277	27,901
José Rodrigues	100,000	0,138	2,062	0,042	2,2
Taperoá	100,000	0,963	158,160	2,364	159,123
São Salvador	94,270	0,102	16,017	0,492	16,119
SISTEMA	96,831	5,246	1197,568	3,947	1206,758

Fonte: Autor (2023)

* perda efetiva do sistema

Tabela 25 - Indicador e perdas para o cenário C-FIsMín

Subsistema	Indicador	Perdas			TOTAL (m ³ /s)
	Confiabilidade (%)	Reservatórios (m ³ /s)	Rios (m ³ /s)	Dreno (m ³ /s)	
Trecho principal	94,828	2,800	931,089	4,118*	938,007
Sumé	100,000	0,525	22,096	1,442	22,621
Santo Antônio - Cordeiro	100,000	0,781	27,120	1,277	27,901
José Rodrigues	100,000	0,138	2,062	0,042	2,2
Taperoá	100,000	0,963	158,160	2,364	159,123
São Salvador	94,270	0,102	16,017	0,492	16,119
SISTEMA	96,821	5,312	1156,542	4,118	1165,971

Fonte: Autor (2023)

* perda efetiva do sistema

Realizando uma comparação entre os cenários C-FIsMéd e C-FIsMín, observa-se que o cenário C-FIsMéd apresentou maiores perdas hídricas no sistema, visto que ele recebeu uma maior vazão na entrada do sistema, a vazão média do PISF. Com relação as perdas nos reservatórios, o Trecho principal apresentou maiores perdas no cenário C-FIsMín pelo fato de que o sistema acumulou mais água no reservatório Epitácio Pessoa para atender suas demandas, as quais são muito superiores às dos outros três reservatórios (Poções, Camalaú, Acauã).

Os demais subsistemas permaneceram com as mesmas perdas independentemente da vazão de entrada. Isso se deve ao fato de que a configuração do sistema está isolada, significando que os subsistemas Santo Antônio – Cordeiro, José Rodrigues, Sumé, Taperoá e São Salvador só irão contribuir para o Trecho principal após o atendimento de todas as suas demandas, saindo pelos seus drenos apenas o excedente. Esse comportamento se repete para os rios. O Trecho principal acompanhou a tendência de diminuição das perdas no rio conforme as menores liberações de vazão do PISF pois, nesse trecho é onde percorrem as águas advindas da transposição.

Com relação ao indicador confiabilidade, o cenário C-FIsMéd, de maior vazão, apresentou um maior percentual em comparação ao cenário C-FIsMín. As demandas no sistema são as mesmas para os dois cenários, dessa forma, quanto maior a vazão de entrada no sistema, mais facilmente as demandas serão atendidas, aumentando a confiabilidade.

Realizando uma comparação entre os cenários C-FInMéd e C-FInMín com os cenários C-FIsMéd e C-FIsMín, os quais apresentam a mesma tendência de diminuição de vazões e diferem apenas na configuração do sistema, sendo isolado ou integrado, observa-se que os cenários do traçado integrado apresentam maiores perdas hídricas.

Com relação aos 10 cenários propostos na validação do modelo de concessão de outorga, observou-se que os 4 cenários futuros apresentaram maior quantidade de outorgas não concedidas, visto que nos cenários futuros as demandas são superiores aos cenários atuais. No entanto, é importante observar que apesar de a diferença no número de outorgas não concedidas entre os cenários atuais e futuros ser pequena, os resultados mostram que o Canal Acauã-Araçagi não poderá ser atendido em sua plenitude, visto que isso poderia acarretar a impossibilidade de atendimento das outorgas atuais e futuras em todos os tipos de uso.

A Tabela 26 apresenta o resumo dos resultados obtidos, com relação às perdas, ao indicador de confiabilidade e ao atendimento ao canal Acauã-Araçagi, em todos os cenários analisados.

Tabela 26 - Resumo dos resultados nos cenários analisados

Cenários	Perdas (m ³ /s)				Confiabilidade (%)	Canal (m ³ /s)
	Rios	Reservatórios	Drenos	Total		
C - AInMéd	1739,14	5,643	7,829	1752,612	98,661	-
C - AInMín	1678,625	5,582	7,669	1691,876	98,553	-
C - AInR	1552,064	5,417	7,279	1564,760	98,051	-
C - AIsMéd	1243,36	5,542	4,438	1253,338	98,814	-
C - AIsMín	1184,984	5,485	4,295	1194,76	98,472	-
C - AIsR	1096,819	5,326	4,291	1106,432	96,625	-
C - FInMéd	1662,858	5,351	7,112	1675,321	97,292	0,82
C - FInMín	1610,341	5,247	6,757	1622,345	98,321	0,089
C - FIsMéd	1197,568	5,246	3,947	1206,758	96,831	1,294
C - FIsMín	1156,542	5,312	4,118	1165,971	96,821	0,56

Fonte: Autor (2023)

6. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, a metodologia proposta para a concessão de outorgas em sistemas hídricos controlados por reservatórios mostrou-se capaz de conceder outorgas, minimizando problemas peculiares de déficit hídrico e os conflitos de uso da água.

A utilização de um modelo de simulação baseado em rede de fluxo permitiu a incorporação das prioridades de atendimento dos diversos usos além de permitir a operação do sistema em configurações diferentes, analisando toda a bacia hidrográfica em estudo ou em sistemas isolados.

Com os resultados obtidos no estudo de caso, observou-se que os sistemas isolados apresentaram menores perdas hídricas para o sistema, possibilitando a inserção de mais outorgas. Isso é de suma importância, visto que o principal objetivo da metodologia proposta é servir como apoio ao processo de emissão de outorgas pelos órgãos gestores. As alterações observadas entre os cenários (isolados e integrados) mostram que a metodologia é robusta e possui a sensibilidade em apresentar variações nos resultados de acordo com as demandas e vazões afluentes inseridas.

A possibilidade de avaliação de todo o sistema permitiu analisar o impacto de uma outorga tanto a montante como a jusante da mesma, mostrando o quanto uma nova outorga pode reduzir o atendimento dos demais outorgados.

Nos resultados obtidos, foi possível observar que o subsistema do reservatório São Salvador atua de forma isolada, visto que não apresenta outorgas a jusante do mesmo. Isso serve de alerta para os órgãos gestores, visto que esse subsistema apresentou as maiores falhas de atendimento das outorgas, deixando de atender algumas demandas nesse trecho. Ou seja, não há possibilidade de atender toda a demanda atual existente para a localidade.

Os resultados confirmaram o que trabalhos anteriores explanaram sobre a não capacidade de atendimento da demanda de projeto do Canal Acauã-Araçagi. Foi analisado que os valores concedidos para o seu atendimento estão muito abaixo do esperado. Essa situação ocorreu nos quatro cenários futuros, mostrando que não é possível o seu completo atendimento. Nesse caso, a metodologia proposta apresentou-se

importante na análise da vazão de projeto, visto que permitiu avaliar a vazão máxima que o sistema poderá conceder, servindo de alerta para os órgãos gestores da região, os quais devem rever essa vazão.

Com a comparação realizada entre os cenários atuais isolados (C-AIsMéd, C-AIsMín, C-AIsR) e a vazão referencial, foi observado que a metodologia proposta nessa tese conseguiu atender mais outorgas do que com a vazão referencial, apresentando um avanço para a gestão dos recursos hídricos. Esse comparativo também permitiu verificar que o subsistema São Salvador apresenta atualmente uma vazão referencial acima da capacidade do reservatório em atender suas outorgas, também servindo de alerta aos órgãos gestores.

É importante destacar que a simulação se apresentou bastante eficaz na validação dessa metodologia, sendo de grande valia para a gestão hídrica no país, visto que a simulação é de menor complexidade, se comparada com a otimização. Sendo assim, se torna mais fácil de ser reproduzida pelos outorgantes.

Essa metodologia pode ser utilizada tanto para bacias hidrográficas controladas por reservatórios situadas em Estados que já possuam a implementação do instrumento de outorga, quanto para bacias hidrográficas controladas por reservatórios situadas em Estados que pretendam implementar a outorga.

Sendo assim, a metodologia proposta nessa tese permite que os tomadores de decisão possuam uma ferramenta eficaz na alocação dos recursos hídricos, em bacias hidrográficas controladas por reservatórios, analisando a possibilidade de atendimento de determinadas outorgas ao longo do tempo, com o objetivo principal de maximizar essa alocação para que seja possível que mais outorgas sejam atendidas sem falhas.

Desta forma, com o potencial fornecido por esta metodologia, os resultados demonstram que ela pode servir para otimizar a alocação dos recursos hídricos em sistemas controlados por reservatórios. Assim, tem-se uma contribuição para a tomada de decisões, alicerçando órgão gestores para a melhoria na gestão dos recursos hídricos.

7. REFERÊNCIAS

ABRANTES, A. P. *Avaliação do aumento das demandas na região receptora do Projeto de Integração do rio São Francisco – eixo norte no Estado da Paraíba*. Dissertação (Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2021. 106 p.

AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. Disponível em: < <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/comite-de-bacias/rio-paraiba/> >. Acesso em: 10/11/2021

AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. *Plano Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba: RF-02 B - Diagnóstico Atual dos Recursos Hídricos/Governo do Estado da Paraíba*. – João Pessoa: Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba, 2022.

AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. Disponível em: < <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/> >. Acesso em: 20/05/2023

ALMEIDA, M. A.; CURI, W. F. *Gestão do uso de água na bacia do Rio Paraíba, PB, Brasil com base em modelos de outorga e cobrança*. Revista Ambiente e Água, v. 11, p. 989-1005, 2016.

ALMEIDA, M. A. *Integração de modelos de outorga, cobrança e análise multicriterial e multidecisor: uma aplicação na bacia do Rio Paraíba-PB*. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB, 2016.

ALMEIDA, J. H. M. *Avaliação do impacto da pequena açudagem na vazão regularizada de um reservatório estratégico. Estudo de caso: açude araras – CE*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza – CE, 2016.

AMÉRICO-PINHEIRO, J. H. P.; VANZELA, L. S. ; CASTRO, C. V.; MANSANO, C. F. M.; TAGLIAFERRO, E. R. *A gestão das águas no Brasil: uma abordagem sobre os instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos*. Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades, v. 7, p. 30-44, 2019.

ANA, Agência Nacional de Águas. *Nota Técnica nº 56/2015/SPR. Atualização da base de demandas de recursos hídricos no Brasil*. Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos. -- Brasília: ANA, 2015.

ANA, Agência Nacional de Águas. *Sistemas de informação na gestão de águas: conhecer para decidir*. Brasília: ANA, 2016.

ANA, Agência Nacional de Águas. *Reservatórios do Semiárido Brasileiro: Hidrologia, Balanço Hídrico e Operação: Anexo A / Agência Nacional de Águas*. Brasília: ANA, 2017.

ANA, Agência Nacional de Águas. *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2018*. Brasília: ANA, 2018.

ANA, Agência Nacional de Águas. *Outorga dos direitos de uso de recursos hídricos*. Agência Nacional de Águas. -- Brasília: ANA, 2019.

ANA, Agência Nacional de Águas. *Resolução ANA nº 145, de 7 de fevereiro de 2023*. Agência Nacional de Águas. -- Brasília: ANA, 2023.

ARAMI SHAMASBI, F.; KANOONI, A.; RASINEZAMI, S. *The effect of different management scenarios on quantitative changes in water resources of Balekhlichai river watershed and Ardabil plain aquifer using MODSIM model*. *Water and Irrigation Management*, 11(4), p. 923-935, 2022.

BETTENCOURT, P.; DE OLIVEIRA, R.P.; FULGÊNCIO, C.; CANAS, Â.; WASSERMAN, J. C. *Cenários de Balanço Hídrico Prospectivo (2015–2035) para a Gestão da Bacia do Rio São Francisco, Leste do Brasil*. *Revista Água* 2022, 14, 2283.

BRASIL. Constituição (1988). *Constituição da República Federativa do Brasil*. Brasília, DF: Senado Federal, 1988.

BRASIL. Lei Federal 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*.

BRASIL. Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000. *Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, integrante do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Singreh) e responsável pela instituição de normas de referência para a regulação dos serviços públicos de saneamento básico*.

BRASIL. Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005. *Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências*. Conselho Nacional de Meio Ambiente.

BRITO, V. C. *Análise de perdas de água por meio de otimização para o Projeto de Integração do Rio São Francisco, Eixo Leste – Bacia do Rio Paraíba*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB, 2019.

BRITO, V. C.; SANTOS, V. S.; CURTI, W. F.; NEPOMUCENO, T. C.; COSTA NETO, F. A. *Perdas hídricas e desempenho dos reservatórios receptores do PISF na bacia do Rio Paraíba*. *Revista Ibero-americana de Ciências Ambientais*, v. 10, p. 114-127, 2019.

CÂMARA, A. C. F. C.; LANNA, A. E. L. *Proposta para análise da vazão máxima outorgável e da introdução simplificada da qualidade da água no processo de outorga da bacia do rio Gramame (PB)*. Cd-Rom do VI Simpósio de recursos Hídricos do Nordeste. Maceió – AL, 2002.

CELESTE, A. B. *Determinação e análise de indicadores de desempenho e de sustentabilidade de seis açudes na bacia do rio Piancó – PB e de suas potenciais demandas*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB, 2006.

CELESTE, A. B.; KOICHI, S.; SANTOS, V. S. *Análise de indicadores de sustentabilidade para reservatórios operados por regras derivadas de otimização estocástica implícita*. In Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, João Pessoa, 2005 (CD-ROM).

COLLISCHONN, B. *Sistema de apoio à decisão para outorga de direito de uso de recursos hídricos*. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, 2014.

COSTA, L. F. C.; O uso da simulação computacional como ferramenta de análise: um estudo de caso em empresa de câmaras de bronzeamento. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre – RS, 2002.

COSTA NETO, F. D. A. D. *Análise de alternativas para o uso das águas do projeto de integração do rio São Francisco-eixo Norte, no Estado da Paraíba através de um modelo de otimização multiobjetivo*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2020.

CURI, W. F.; CELESTE, A. B.; CURI, R. C.; BARBOSA, A. C. L. *Um modelo de outorga para bacias controladas por reservatórios: Desenvolvimento do modelo que contempla demandas múltiplas e variáveis mensalmente*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 16, 2011, p. 73-82.

CURI, W. F.; CURI, R.C. *ORNAP - Optimal Reservoir Network Analysis Program*. In: Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Aracaju, 2001. CD-ROM

DACHOWSKI, R.; GALEK, K. *Selection of the Best Method for Underpinning Foundations Using the PROMETHEE II Method*. Sustainability 2020.

DORNELLAS, P. C.; XAVIER, R. A.; SILVA, R. M.; SEABRA, V. S. *Análise morfométrica da bacia do alto rio paraíba, região semiárida do Estado da Paraíba*. Revista Brasileira de Geomorfologia v. 21, p. 601-614, 2020.

FADAEIZADEH, K., SHOURIAN, M. *Determination of the Optimal River Basin-Wide Agricultural Water Demand Quantities Meeting Satisfactory Reliability Levels*. Water Resour Manage 33, 2665–2676, 2019.

FARIAS, E.E.V. ; CURI, W. F. ; DINIZ, L. S. . *São Francisco river Integration Project, Eastern Axis: losses analysis and performance indicators*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 22, p. 1, 2017.

GOLDBARG, M.C.; LUNA, H. P.L.; GOLDBARG, E.F.G. *Programação linear e fluxos em redes*. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

GRANGEIRO, E. L. A.; RIBEIRO, M. M. R.; MIRANDA, L. I. B.. *Análise da governança dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do Rio Paraíba*. Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais, v.10, n.5, p.314- 330, 2019.

GRITH MARTINSEN, SUXIA LIU, XINGGUO MO, PETER BAUER-GOTTWEIN. *Joint optimization of water allocation and water quality management in Haihe River basin*. Science of The Total Environment, Volume 654, 2019.

HASHIMOTO, T.; STEDINGER, J. R.; LOUCKS, D. P. *Reliability, resiliency, and vulnerability criteria for water resource system performance evaluation*. Water Resources Research, v. 18, n. 1, p. 14-20, 1982.

JIANG LI, SONGHAO SHANG, HONGZHE JIANG, JIAN SONG, KHALIL UR RAHMAN, ADEBAYO J. A. *Simulation-based optimization for spatiotemporal allocation of irrigation water in arid region*. Agricultural Water Management, Volume 254, 2021.

LABADIE, J. W. *Optimal Operation of Multireservoir Systems: State-Of-The-Art Review*. Journal of Water Resources Planning and Management, v. 130. n. 2, p. 93-11, 2004.

LIMA, C. A. G.. *Plano para a Integração do Eixo Leste do Projeto São Francisco com Bacias do Estado da Paraíba*. In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Maceió, AL, Brasil. Anais... Maceió/AL: ABRH, 2011.

LOPES, J. E. G.; BRAGA, B. P. F.; CONEJO, J. G. L. *Simulação Hidrológica: Aplicações de um modelo simplificado*. In: IV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Fortaleza, CE, Brasil. Anais... Fortaleza/CE: ABRH, p. 42-62, 1981.

LOBÃO, E. C.; PORTO, A. J. V. *Evolução das técnicas de simulação*. PRODUCTION (ABEPRO), v. 9, p. 13-21, 1999.

LUCENA, D. P. M. M. *Simulações da implantação de ações de gestão no açude Epitácio Pessoa e seus impactos na crise hídrica em Campina Grande-PB e região*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB, 2018.

MOREIRA, M. C.; SILVA, B. M. B.; SILVA, D. D. *Influência da sazonalidade das vazões nos critérios de outorga de uso da água: estudo de caso da bacia do rio Paraopeba*. Revista Ambiente & Água, v. 10, p. 623-634, 2015.

NEPOMUCENO, T. C. *Modelo para simulação de nitrogênio e fósforo em sistemas de recursos hídricos, aplicação em região do alto curso do rio Piranhas-PB*. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB, 2018.

NOVO, E. C.; HORA, M. A. G. M. *Estabelecimento das curvas-chave, geração das séries de vazões e estimativa das vazões máximas outorgáveis nos postos da sub-bacia Guapi-Macacu, RJ*. Revista Eletrônica Sistemas & Gestão, v. 14, p. 464-482, 2019.

PAIVA, A.E. D. B. *Simulações Hidrológicas na bacia do rio Gramane como subsídio ao processo de outorga*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Paraíba. Pós-Graduação em Engenharia Civil. Campina Grande – PB, 136p, 2001.

PARAÍBA. Lei nº 6.308, de 02 de julho de 1996. *Institui a Política Estadual de Recursos Hídricos, suas diretrizes e dá outras providências*.

PARAÍBA. Decreto Estadual nº 19.260, de 31 de outubro de 1997. *Regulamenta a outorga do direito de uso dos recursos hídricos e dá outras providências*.

PARAÍBA. Lei nº 7.779, de 07 de julho de 2005. *Cria a Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba – AESA e dá outras providências*.

PARAÍBA. Resolução nº 01, de 18 de dezembro de 2017. *Dispõe sobre o estabelecimento de restrições ao uso das águas do Rio Paraíba e dá outras providências*.

PEREIRA, J. S.; LANNA, A. E. L. *Análise de critérios de outorga de uso da água*. Anais do 3º Simpósio de Recursos hídricos do Nordeste. Vol. 1, 335-342. Salvador – Bahia, 1996.

PESSOA, M. F., ASSIS, L. F., VIEIRA, A. S.; *Planejamento Ótimo da Água na Agricultura Irrigada: Um Estudo de Caso em Um Perímetro Paraibano*. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais. v. 7, n. 1 2016.

PIZZOLATO, N. D.; GANDOLPHO, A. A. *Técnicas de otimização*. Rio De Janeiro: Editora Ltc. 225 P, 2013.

Plano Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba: relatório executivo/Governo do Estado da Paraíba. – João Pessoa: Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba, 2022. POLETO, C. *Bacias hidrográficas e recursos hídricos*. 1ª ed. Interciência. Rio de Janeiro – RJ, 2014.

QINGHUI YOU; NA FANG; MINFEI JIAN; QIWU HU; BO YAO; DANDAN LIU; WENJING YANG. *A reliability-resilience-vulnerability framework for measuring the influence of changes in water level fluctuations on lake conditions*. Ecological Indicators, Volume 134, 2022.

QUEIROZ REIS, C.; SANTOS, V. S.; FARIAS, C. A. S. *Avaliação da sustentabilidade hídrica dos reservatórios Engenheiro Ávidos e São Gonçalo no Estado da Paraíba*. REVISTA BRASILEIRA DE GESTÃO AMBIENTAL, v. 13, p. 1-9, 2019.

REIS, A. M. R.; ALVARES, T. C. C.; FERREIRA, M. C. G.; COSTA, R. R.; DEUS, J. C. S.; SILVA, A. I. M.; CAMELO, A. L. C. *Outorga dos direitos de uso de recursos hídricos: instrumento para o gerenciamento ambiental das águas de abastecimento da universidade federal do Pará*. Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável 2. 1ed.Ponta Grossa: Atena Editora, 2019, v. 2, p. 49-61.

RIBEIRO M. M. R. *Alternativas para a outorga e a cobrança pelo uso da água: simulação de um caso*. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre – RS, 200p, 2000.

RIBEIRO, M. A. F. M.; BARBOSA, D. L.; BATISTA, M. L. C.; ALBUQUERQUE, J. P. T.; ALMEIDA, M. A.; RIBEIRO, M. M. R. *Simulação da Prioridade de uso das Águas Superficiais como um Critério para o Instrumento da Outorga*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 19, p. 135-145, 2014.

RIBEIRO, M. A. F. M. *Participação Pública na gestão de recursos hídricos no Brasil e em Portugal*. Tese (Doutorado em Recursos Naturais). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2016.

RODRIGUES, A.C.L. *Nova proposta para o processo de outorga em sistemas de reservatórios – estudo de caso: bacia hidrográfica do Rio Piancó*. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB, 2007.

RODRIGUES, A. L. ; LEAL, L. V. M. *Outorga e cobrança pelo uso dos recursos hídricos como instrumentos de gestão da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba*. Revista de Direito, v. 11, p. 61-101, Viçosa, 2019.

SALLA, M. R., ARQUIOLA, J. P., SOLERA, A., ÁLVAREZ, J. A., PEREIRA, C. E., ALAMY FILHO, J. E., OLIVEIRA, A. L. *Sistema de Suporte à Decisão em Recursos Hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Uberabinha, Minas Gerais*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 19, n. 1, p. 189 - 204, 2014.

SANTILLI, J. *Aspectos Jurídicos da Política Nacional de Recursos Hídricos*. 2007, 19p. Série Grandes Eventos Meio Ambiente. Esc. Sup. do Min. Público da União.

SANTOS, A. A. M. *Alocação territorial de longo prazo de vazões outorgáveis com diferentes garantias*. Tese (Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Universidade de Brasília, Brasília – DF, 2010.

SANTOS, V. S. *Modelo de otimização quali-quantitativo multiobjetivo para o planejamento dos recursos hídricos superficiais, com aplicação à bacia do rio Paraíba*. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande - PB, 2011.

SANTOS, V. S.; CURI, W. F. *Sustentabilidade do uso dos recursos hídricos do reservatório Epiácio Pessoa através de um modelo de otimização multiobjetivo*. Reunir: Revista de Administração, Ciências Contábeis e Sustentabilidade, v. 4, p. 95, 2014.

SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS – SRH. RELATÓRIO 17 - *Experiências internacionais com outorga e alocação de água*. Ceará - CE, 2017.

SILVA NETO, E. D. *Modelo de cobrança pelo uso dos recursos hídricos em bacias hidrográficas controladas por reservatórios: proposta metodológica e simulação na bacia hidrográfica dos Rios Piancó-Piranhas-Açu*. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande - PB, 2018.

SILVA, D. D. C.; COSTA, A. C. F.; BASTOS, C. L.; PARADA, J. O.; FERREIRA, J. M. B. *Análise multicritério como suporte a decisão em situação de escassez hídrica*:

estudo de caso da sub-bacia hidrográfica do rio Seridó - Rio Grande do Norte – Brasil. Revista ETIS, v.1, n.01, 2019.

SILVA, W. P. et al. “*LAB Fit Ajuste de Curvas*”: *Um software em português para tratamento de dados experimentais.* Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 26, n. 4, p. 419 – 427, nov. 2004.

SIMONOVIC, S. P. *Reservoir system analysis: closing gap between theory and practice.* Journal of Water Resources Planning and Management. 118 (3), p.262-280, 1992.

SOUSA, F. R. L.; SANTOS, V. S.; OLIVEIRA, M. M.; VALE, J. R. L.; PESSOA, M. F. *Outorgas de direito de uso dos recursos hídricos no Alto Curso do rio Piranhas no Sertão da Paraíba.* Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v. 12, p. 843, 2017.

STINGHEN, C. M.; MANNICH, M. *Diagnóstico de outorgas de captação e lançamento de efluentes no Paraná e impactos dos usos insignificantes.* Revista de Gestão de Água da América Latina, v. 16, e10, 2019.

TC/BR RIVERSIDE TECHNOLOGY. *Plano diretor de recursos hídricos da bacia hidrográfica do Rio Paraíba.* João Pessoa: SEMARH/PB, 2001.

VIANNA, W. P. Jr.; LANNA, A. E. L. *Simulação e otimização de um sistema de reservatórios: bacia do rio Curu.* Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 7, n. 3, p. 63-83. 2002.

VIEIRA, V. P. P. B. *Recursos hídricos e o desenvolvimento sustentável do semi-árido Nordeste.* Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 1, n. 1, p. 91-107, 1996.

VIEIRA, A. S.; CURI, W. F. *Evidenciação dos modelos de simulação e técnicas para o planejamento integrado dos sistemas hídricos.* Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental. Vol. 5, p. 233-266, 2016.

WURBS, R. A. *Reservoir-system simulation and optimization models.* Journal of Water Resources Planning and Management. 119 (4), p.455-472, 1993.

YEH, W. W-G. *Reservoir Management and Operation Models: a State-of-the-Art Review.* Water Resources Research, v. 21, n. 12, p. 1797-1818. 1985.

ZOU, H., LIU, D., GUO, S. et al. *Quantitative assessment of adaptive measures on optimal water resources allocation by using reliability, resilience, vulnerability indicators.* Stoch Environ Res Risk Assess, 103–119, 2020.

ZUFFO, A. C.; ZUFFO, M. S. R. . *Gerenciamento de Recursos Hídricos: Conceituação e Contextualização.* 1/1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016. v. 1. 480p

8. APÊNDICES

APÊNDICE A – Tabela de atendimento das demandas para o cenário C-AInMéd

Demandas	Frequência abaixo da demanda necessária (%)	Confiabilidade (1-falhas)
Abast_1	0	100
Abast_10	5	95
Abast_11	5	95
Abast_2	0	100
Abast_3	0	100
Abast_4	0,83	99,17
Abast_5	0	100
Abast_6	0,42	99,58
Abast_7	0	100
Abast_8	0	100
Abast_9	0	100
Aqui_1	0	100
Aqui_2	2,92	97,08
Aqui_3	0	100
Dreno	0	100
Irri_1	0	100
Irri_10	1,67	98,33
Irri_11	0	100
Irri_12	1,67	98,33
Irri_13	0	100
Irri_14	0	100
Irri_15	0	100
Irri_16	2,92	97,08
Irri_17	5,42	94,58
Irri_18	9,17	90,83
Irri_18-1	9,17	90,83
Irri_2	0	100
Irri_3	0	100
Irri_4	0	100
Irri_5	0	100
Irri_6	0	100
Irri_7	0	100
Irri_9	0	100

Fonte: Autor (2023)

APÊNDICE B - Tabela para atendimento das demandas para o cenário C-AInMín

Demandas	Frequência abaixo da demanda necessária (%)	Confiabilidade (1-falhas)
Abast_1	0	100
Abast_10	5	95
Abast_11	5	95
Abast_2	0	100
Abast_3	0	100
Abast_4	2,92	97,08
Abast_5	0	100
Abast_6	0,42	99,58
Abast_7	0	100
Abast_8	0	100
Abast_9	0	100
Aqui_1	0	100
Aqui_1-1	0	100
Aqui_2	4,17	95,83
Aqui_3	0	100
Dreno	0	100
Irri_1	0	100
Irri_10	1,67	98,33
Irri_11	0	100
Irri_12	2,08	97,92
Irri_13	0	100
Irri_14	0	100
Irri_15	0	100
Irri_16	4,17	95,83
Irri_17	5,42	94,58
Irri_18	9,17	90,83
Irri_18-1	9,17	90,83
Irri_2	0	100
Irri_3	0	100
Irri_4	0	100
Irri_5	0	100
Irri_6	0	100
Irri_7	0	100
Irri_9	0	100

Fonte: Autor (2023)

APÊNDICE C - Tabela para atendimento das demandas para o cenário C-AInR

Demandas	Frequência abaixo da demanda necessária (%)	Confiabilidade (1-falhas)
Abast_1	0	100
Abast_10	5	95
Abast_11	5	95
Abast_2	0	100
Abast_3	1,25	98,75
Abast_4	3,75	96,25
Abast_5	0	100
Abast_6	2,5	97,5
Abast_7	0	100
Abast_8	0	100
Abast_9	0	100
Aqui_1	0,83	99,17
Aqui_1-1	1,25	98,75
Aqui_2	4,58	95,42
Aqui_3	0	100
Dreno	0	100
Irri_1	0,42	99,58
Irri_10	1,67	98,33
Irri_11	0	100
Irri_12	2,92	97,08
Irri_13	2,5	97,5
Irri_14	0,42	99,58
Irri_15	0	100
Irri_16	4,58	95,42
Irri_17	6,25	93,75
Irri_18	8,75	91,25
Irri_18-1	8,33	91,67
Irri_2	1,25	98,75
Irri_3	0	100
Irri_4	0,42	99,58
Irri_5	2,08	97,92
Irri_6	0	100
Irri_7	0	100
Irri_9	2,5	97,5

Fonte: Autor (2023)

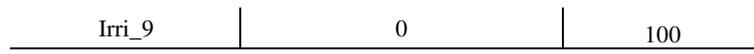
APÊNDICE D - Tabela para atendimento das demandas para o cenário C-AIsMéd

Demandas	Frequência abaixo da demanda necessária (%)	Confiabilidade (1-falhas)
Abast_1	0	100
Abast_10	5	95
Abast_11	5	95
Abast_2	0	100
Abast_3	0	100
Abast_4	0	100
Abast_5	0,83	99,17
Abast_6	0	100
Abast_7	0,83	99,17
Abast_8	0	100
Abast_9	0,42	99,58
Aqui_1	0,83	99,17
Aqui_1-1	0,83	99,17
Aqui_2	0	100
Aqui_3	0,42	99,58
Dreno	0	100
Dreno1	0	100
Dreno2	0	100
Dreno3	0	100
Dreno4	0	100
Dreno5	0	100
Irr_1	0,83	99,17
Irr_10	1,67	98,33
Irr_11	0,83	99,17
Irr_12	0	100
Irr_13	0	100
Irr_14	0,42	99,58
Irr_15	0,83	99,17
Irr_16	0	100
Irr_17	5,42	94,58
Irr_18	9,17	90,83
Irr_18-1	9,17	90,83
Irr_2	0,83	99,17
Irr_3	0,83	99,17
Irr_4	0,83	99,17
Irr_5	0	100
Irr_6	0,83	99,17
Irr_7	0,42	99,58
Irr_9	0	100

Fonte: Autor (2023)

APÊNDICE E - Tabela para atendimento das demandas para o cenário C-AIsMín

Demandas	Frequência abaixo da demanda necessária (%)	Confiabilidade (1-falhas)
Abast_1	0	100
Abast_10	5	95
Abast_11	5	95
Abast_2	0	100
Abast_3	0	100
Abast_4	0	100
Abast_5	1,25	98,75
Abast_6	0	100
Abast_7	1,25	98,75
Abast_8	0	100
Abast_9	0,42	99,58
Aqui_1	2,5	97,5
Aqui_1-1	2,5	97,5
Aqui_1-2	2,5	97,5
Aqui_1-3	2,5	97,5
Aqui_1-4	2,5	97,5
Aqui_2	0	100
Aqui_3	0,42	99,58
Dreno	0	100
Dreno1	0	100
Dreno2	0	100
Dreno3	0	100
Dreno4	0	100
Dreno5	0	100
Irri_1	2,08	97,92
Irri_10	1,67	98,33
Irri_11	1,25	98,75
Irri_12	0	100
Irri_13	0	100
Irri_14	0,42	99,58
Irri_15	1,25	98,75
Irri_16	0	100
Irri_17	5,42	94,58
Irri_18	9,17	90,83
Irri_18-1	9,17	90,83
Irri_2	2,92	97,08
Irri_3	2,08	97,92
Irri_4	1,25	98,75
Irri_5	0	100
Irri_6	1,25	98,75
Irri_7	0,42	99,58



Fonte: Autor (2023)

APÊNDICE F - Tabela para atendimento das demandas para o cenário C-AIsR

Demandas	Frequência abaixo da demanda necessária (%)	Confiabilidade (1-falhas)
Abast_1	0	100
Abast_10	5	95
Abast_11	5	95
Abast_2	0	100
Abast_3	0	100
Abast_4	0	100
Abast_5	3,75	96,25
Abast_6	0	100
Abast_7	2,08	97,92
Abast_8	2,92	97,08
Abast_9	3,33	96,67
Aqui_1	4,58	95,42
Aqui_1-1	5	95
Aqui_1-10	5	95
Aqui_1-11	5	95
Aqui_1-12	5	95
Aqui_1-2	5	95
Aqui_1-3	5	95
Aqui_1-4	5	95
Aqui_1-5	5	95
Aqui_1-6	5	95
Aqui_1-7	5	95
Aqui_1-8	5	95
Aqui_1-9	5	95
Aqui_2	0	100
Aqui_3	3,33	96,67
Dreno	0	100
Dreno1	0	100
Dreno2	0	100
Dreno3	0	100
Dreno4	0	100
Dreno5	0	100
Irri_1	4,17	95,83
Irri_10	1,67	98,33
Irri_11	3,75	96,25
Irri_12	0	100
Irri_13	0	100
Irri_14	3,33	96,67
Irri_14-1	3,33	96,67
Irri_14-2	3,33	96,67
Irri_14-3	3,33	96,67

Irri_14-4	3,33	96,67
Irri_15	3,75	96,25
Irri_16	0	100
Irri_17	5,42	94,58
Irri_18	9,17	90,83
Irri_18-1	9,17	90,83
Irri_2	5	95
Irri_2-1	5	95
Irri_3	4,58	95,42
Irri_3-1	4,58	95,42
Irri_3-10	4,58	95,42
Irri_3-11	4,58	95,42
Irri_3-12	4,58	95,42
Irri_3-13	4,58	95,42
Irri_3-2	4,58	95,42
Irri_3-3	4,58	95,42
Irri_3-4	4,58	95,42
Irri_3-5	4,58	95,42
Irri_3-6	4,58	95,42
Irri_3-7	4,58	95,42
Irri_3-8	4,58	95,42
Irri_3-9	4,58	95,42
Irri_4	4,58	95,42
Irri_5	0	100
Irri_6	3,75	96,25
Irri_7	3,33	96,67
Irri_9	0	100

Fonte: Autor (2023)

APÊNDICE G - Tabela para atendimento das demandas para o cenário C-FInMéd

Demandas	Frequência abaixo da demanda necessária (%)	Confiabilidade (1-falhas)
Abast_1	0	100
Abast_10	4,58	95,42
Abast_11	5	95
Abast_2	0	100
Abast_3	0	100
Abast_4	1,67	98,33
Abast_5	0	100
Abast_6	0,42	99,58
Abast_7	0	100
Abast_8	0	100
Abast_9	0	100
Aqui_1	0	100
Aqui_1-1	0	100
Aqui_2	4,17	95,83
Aqui_3	0	100
Dreno	0	100
Irri_1	0	100
Irri_10	0	100
Irri_11	0	100
Irri_12	3,33	96,67
Irri_13	0	100
Irri_14	0	100
Irri_15	0	100
Irri_16	4,17	95,83
Irri_17	6,67	93,33
Irri_18	6,67	93,33
Irri_2	0	100
Irri_3	0	100
Irri_4	0	100
Irri_5	0	100
Irri_6	0	100
Irri_7	0	100
Irri_9	0	100

Fonte: Autor (2023)

APÊNDICE H - Tabela para atendimento das demandas para o cenário C-FInMín

Demandas	Frequência abaixo da demanda necessária (%)	Confiabilidade (1-falhas)
Abast_1	0	100
Abast_10	4,58	95,42
Abast_11	5	95
Abast_2	0	100
Abast_3	0	100
Abast_4	2,92	97,08
Abast_5	0	100
Abast_6	0,83	99,17
Abast_7	0	100
Abast_8	0	100
Abast_9	0	100
Aqui_1	0	100
Aqui_2	3,75	96,25
Aqui_3	0	100
Dreno	0	100
Irri_1	0	100
Irri_10	0	100
Irri_11	0	100
Irri_12	3,33	96,67
Irri_13	0,83	99,17
Irri_14	0	100
Irri_15	0	100
Irri_16	3,75	96,25
Irri_17	6,67	93,33
Irri_18	6,67	93,33
Irri_2	0	100
Irri_3	0	100
Irri_4	0	100
Irri_5	0	100
Irri_6	0	100
Irri_7	0	100
Irri_9	1,25	98,75

Fonte: Autor (2023)

APÊNDICE I - Tabela Resultados do atendimento da vazão de projeto do canal Acauã-Araçagi para o cenário C-FInMéd

Demandas	Frequência abaixo da demanda necessária (%)	Confiabilidade (1-falhas)
Abast_1	0	100
Abast_10	4,58	95,42
Abast_11	4,17	95,83
Abast_2	0	100
Abast_3	10,83	89,17
Abast_4	17,5	82,5
Abast_5	10	90
Abast_6	11,67	88,33
Abast_7	10	90
Abast_8	5,83	94,17
Abast_9	21,67	78,33
Aqui_1	24,58	75,42
Aqui_1-1	24,58	75,42
Aqui_2	30,42	69,58
Aqui_3	22,92	77,08
Canal Acauã-Araçagi	21,25	78,75
Dreno	0	100
Irri_1	23,33	76,67
Irri_10	23,33	76,67
Irri_11	22,08	77,92
Irri_12	27,08	72,92
Irri_13	22,5	77,5
Irri_14	22,92	77,08
Irri_15	22,5	77,5
Irri_16	30,42	69,58
Irri_17	6,67	93,33
Irri_18	6,67	93,33
Irri_2	24,17	75,83
Irri_3	22,92	77,08
Irri_4	23,33	76,67
Irri_5	23,33	76,67
Irri_6	22,08	77,92
Irri_7	22,92	77,08
Irri_9	23,33	76,67
Perímetro do Congo	22,08	77,92
Perímetro de Poções	22,08	77,92
Perímetro de Sumé	32,08	67,92
Perímetro de Vereda Grande	23,33	76,67

Fonte: Autor (2023)

APÊNDICE J - Tabela Resultados do atendimento da vazão de projeto do canal Acauã-Araçagi para o cenário C-FInMín

Demandas	Frequência abaixo da demanda necessária (%)	Confiabilidade (1-falhas)
Abast_1	0	100
Abast_10	4,58	95,42
Abast_11	4,17	95,83
Abast_2	0	100
Abast_3	11,25	88,75
Abast_4	17,92	82,08
Abast_5	10	90
Abast_6	12,5	87,5
Abast_7	11,25	88,75
Abast_8	6,25	93,75
Abast_9	22,5	77,5
Aqui_1	25,42	74,58
Aqui_2	30,83	69,17
Aqui_3	22,92	77,08
Canal Acauã-Araçagi	22,08	77,92
Dreno	0	100
Irri_1	24,17	75,83
Irri_10	24,17	75,83
Irri_11	22,92	77,08
Irri_12	27,5	72,5
Irri_13	24,58	75,42
Irri_14	23,33	76,67
Irri_15	23,33	76,67
Irri_16	30,83	69,17
Irri_17	6,67	93,33
Irri_18	6,67	93,33
Irri_2	25	75
Irri_3	23,75	76,25
Irri_4	23,75	76,25
Irri_5	24,17	75,83
Irri_6	22,92	77,08
Irri_7	22,92	77,08
Irri_9	25	75
Perímetro do Congo	23,33	76,67
Perímetro de Sumé	33,75	66,25
Perímetro de Vereda Grande	23,75	76,25
Perímetro de Poções	22,92	77,08

Fonte: Autor (2023)

APÊNDICE K - Tabela para vazão máxima liberada para o canal Acauã-Araçagi no cenário C-FInMéd

Demandas	Frequência abaixo da demanda necessária (%)	Confiabilidade (1-falhas)
Abast_1	0	100
Abast_10	4,58	95,42
Abast_11	5	95
Abast_2	0	100
Abast_3	1,25	98,75
Abast_4	5	95
Abast_5	0,42	99,58
Abast_6	3,75	96,25
Abast_7	0,42	99,58
Abast_8	0	100
Abast_9	1,25	98,75
Aqui_1	2,5	97,5
Aqui_1-1	2,5	97,5
Aqui_2	6,25	93,75
Aqui_3	2,08	97,92
Canal Acauã-Araçagi	0,83	99,17
Dreno	0	100
Irri_1	2,08	97,92
Irri_10	2,5	97,5
Irri_11	1,67	98,33
Irri_12	3,75	96,25
Irri_13	4,17	95,83
Irri_14	2,08	97,92
Irri_15	2,08	97,92
Irri_16	5,83	94,17
Irri_17	6,67	93,33
Irri_18	6,67	93,33
Irri_2	2,08	97,92
Irri_3	2,08	97,92
Irri_4	2,08	97,92
Irri_5	2,08	97,92
Irri_6	1,67	98,33
Irri_7	2,08	97,92
Irri_9	4,58	95,42
Perímetro do Congo	2,08	97,92
Perímetro de Poções	1,67	98,33
Perímetro de Sumé	7,08	92,92
Perímetro de Vereda Grande	2,08	97,92

Fonte: Autor (2023)

APÊNDICE L - Tabela para vazão máxima liberada para o canal Acauã-Araçagi no cenário C-FInMín

Demandas	Frequência abaixo da demanda necessária (%)	Confiabilidade (1-falhas)
Abast_1	0	100
Abast_10	4,58	95,42
Abast_11	5	95
Abast_2	0	100
Abast_3	0,42	99,58
Abast_4	5	95
Abast_5	0,42	99,58
Abast_6	2,08	97,92
Abast_7	0,42	99,58
Abast_8	0	100
Abast_9	0	100
Aqui_1	0,83	99,17
Aqui_2	4,17	95,83
Aqui_3	0	100
Canal Acauã-Araçagi	0	100
Dreno	0	100
Irri_1	0,42	99,58
Irri_10	1,25	98,75
Irri_11	0,42	99,58
Irri_12	3,33	96,67
Irri_13	2,08	97,92
Irri_14	0	100
Irri_15	0,42	99,58
Irri_16	4,17	95,83
Irri_17	6,67	93,33
Irri_18	6,67	93,33
Irri_2	0,83	99,17
Irri_3	0,83	99,17
Irri_4	0,42	99,58
Irri_5	0,83	99,17
Irri_6	0,42	99,58
Irri_7	0	100
Irri_9	2,5	97,5
Perímetro do Congo	0,42	99,58
Perímetro de Sumé	6,67	93,33
Perímetro de Vereda Grande	0,42	99,58
Perímetro de Poções	0,42	99,58

Fonte: Autor (2023)

APÊNDICE M - Tabela para atendimento das demandas para o cenário C-FIsMéd

Demandas	Frequência abaixo da demanda necessária (%)	Confiabilidade (1-falhas)
Abast_1	0	100
Abast_10	4,58	95,42
Abast_11	5	95
Abast_2	0	100
Abast_3	0	100
Abast_4	0	100
Abast_5	2,08	97,92
Abast_6	0	100
Abast_7	2,08	97,92
Abast_8	0	100
Abast_9	0	100
Aqui_1	1,25	98,75
Aqui_1-1	1,67	98,33
Aqui_2	0	100
Aqui_3	0	100
Dreno	0	100
Dreno1	0	100
Dreno2	0	100
Dreno3	0	100
Dreno4	0	100
Dreno5	0	100
Irri_1	2,08	97,92
Irri_10	0	100
Irri_11	2,08	97,92
Irri_12	0	100
Irri_13	0	100
Irri_14	0	100
Irri_15	2,08	97,92
Irri_16	0	100
Irri_17	6,67	93,33
Irri_18	6,67	93,33
Irri_2	1,67	98,33
Irri_3	2,08	97,92
Irri_4	2,08	97,92
Irri_5	0	100
Irri_6	2,08	97,92
Irri_7	0	100
Irri_9	0	100

Fonte: Autor (2023)

APÊNDICE N - Tabela para atendimento das demandas para o cenário C-FIsMín

Demandas	Frequência abaixo da demanda necessária (%)	Confiabilidade (1-falhas)
Abast_1	0	100
Abast_10	4,58	95,42
Abast_11	5	95
Abast_2	0	100
Abast_3	0	100
Abast_4	0	100
Abast_5	2,92	97,08
Abast_6	0	100
Abast_7	2,92	97,08
Abast_8	0,42	99,58
Abast_9	0,42	99,58
Aqui_1	2,5	97,5
Aqui_1-1	2,92	97,08
Aqui_2	0	100
Aqui_3	1,25	98,75
Dreno	0	100
Dreno1	0	100
Dreno2	0	100
Dreno3	0	100
Dreno4	0	100
Dreno5	0	100
Irri_1	3,75	96,25
Irri_10	0	100
Irri_11	2,92	97,08
Irri_12	0	100
Irri_13	0	100
Irri_14	1,25	98,75
Irri_15	2,92	97,08
Irri_16	0	100
Irri_17	6,67	93,33
Irri_18	6,67	93,33
Irri_2	2,92	97,08
Irri_3	3,75	96,25
Irri_4	4,17	95,83
Irri_5	0	100
Irri_6	2,92	97,08
Irri_7	1,25	98,75
Irri_9	0	100

Fonte: Autor (2023)

APÊNDICE O - Tabela para resultados do atendimento da vazão de projeto do canal Acauã-Araçagi para o cenário C-FIsMéd

Demandas	Frequência abaixo da demanda necessária (%)	Confiabilidade (1-falhas)
Abast_1	0	0
Abast_10	4,58	5,645
Abast_11	5	0,646
Abast_2	0	0
Abast_3	0	0
Abast_4	0	0
Abast_5	17,5	40,4
Abast_6	0	0
Abast_7	16,25	161,601
Abast_8	10,42	15,397
Abast_9	13,33	58,596
Aqui_1	35,42	427,505
Aqui_1-1	35,42	74,386
Aqui_2	0	0
Aqui_3	32,92	4,36
Canal Acauã-Araçagi	32,92	1780,991
Dreno	0	0
Dreno1	0	0
Dreno2	0	0
Dreno3	0	0
Dreno4	0	0
Dreno5	0	0
Irri_1	23,75	56,844
Irri_10	0	0
Irri_11	17,5	0,11
Irri_12	0	0
Irri_13	0	0
Irri_14	32,92	5,19
Irri_15	17,92	3,164
Irri_16	0	0
Irri_17	6,67	1,611
Irri_18	6,67	0,463
Irri_2	35,42	48,92
Irri_3	25	17,823
Irri_4	24,17	32,571
Irri_5	0	0
Irri_6	17,5	0,662
Irri_7	32,92	0,623
Irri_9	0	0
Perímetro do Congo	17,92	0,783

Perímetro de Poções	17,5	17,66
Perímetro de Sumé	0	0
Perímetro de Vereda Grande	23,75	19,045

Fonte: Autor (2023)

APÊNDICE P - Tabela para resultados do atendimento da vazão de projeto do canal Acauã-Araçagi para o cenário C-FIsMín

Demandas	Frequência abaixo da demanda necessária (%)	Confiabilidade (1-falhas)
Abast_1	0	0
Abast_10	4,58	5,645
Abast_11	5	0,646
Abast_2	0	0
Abast_3	0	0
Abast_4	0	0
Abast_5	22,5	51,864
Abast_6	0	0
Abast_7	20,83	200,54
Abast_8	11,25	17,037
Abast_9	35	163,798
Aqui_1	38,33	461,984
Aqui_1-1	38,33	80,511
Aqui_2	0	0
Aqui_3	35,42	4,691
Canal Acauã-Araçagi	35	1706,138
Dreno	0	0
Dreno1	0	0
Dreno2	0	0
Dreno3	0	0
Dreno4	0	0
Dreno5	0	0
Irri_1	39,17	107,054
Irri_10	0	0
Irri_11	37,5	0,237
Irri_12	0	0
Irri_13	0	0
Irri_14	35,42	5,585
Irri_15	37,92	6,696
Irri_16	0	0
Irri_17	6,67	1,611
Irri_18	6,67	0,463
Irri_2	38,33	53,191
Irri_3	38,75	28,84
Irri_4	38,75	54,045
Irri_5	0	0
Irri_6	37,08	1,403
Irri_7	35,42	0,67
Irri_9	0	0
Perímetro do Congo	37,92	16,646

Perímetro de Poções	37,5	37,63
Perímetro de Sumé	0	0
Perímetro de Vereda Grande	39,17	32,101

Fonte: Autor (2023)

APÊNDICE Q - Tabela para vazão máxima liberada para o canal Acauã-Araçagi no cenário C-FIsMéd

Demandas	Frequência abaixo da demanda necessária (%)	Confiabilidade (1-falhas)
Abast_1	0	100
Abast_10	4,58	95,42
Abast_11	5	95
Abast_2	0	100
Abast_3	0	100
Abast_4	0	100
Abast_5	5	95
Abast_6	0	100
Abast_7	5	95
Abast_8	2,92	97,08
Abast_9	3,33	96,67
Aqui_1	7,92	92,08
Aqui_1-1	7,92	92,08
Aqui_2	0	100
Aqui_3	5,42	94,58
Canal Acauã-Araçagi	5	95
Dreno	0	100
Dreno1	0	100
Dreno2	0	100
Dreno3	0	100
Dreno4	0	100
Dreno5	0	100
Irri_1	7,08	92,92
Irri_10	0	100
Irri_11	5	95
Irri_12	0	100
Irri_13	0	100
Irri_14	5,42	94,58
Irri_15	5	95
Irri_16	0	100
Irri_17	6,67	93,33
Irri_18	6,67	93,33
Irri_2	7,92	92,08
Irri_3	7,5	92,5
Irri_4	5,83	94,17
Irri_5	0	100
Irri_6	5	95
Irri_7	5,42	94,58
Irri_9	0	100
Perímetro do Congo	5	95

Perímetro de Poções	5	95
Perímetro de Sumé	0	100
Perímetro de Vereda Grande	6,67	93,33

Fonte: Autor (2023)

APÊNDICE R - Tabela para vazão máxima liberada para o canal Acauã-Araçagi no cenário C-FIsMín

Demandas	Frequência abaixo da demanda necessária (%)	Confiabilidade (1-falhas)
Abast_1	0	0
Abast_10	4,58	5,645
Abast_11	5	0,646
Abast_2	0	0
Abast_3	0	0
Abast_4	0	0
Abast_5	5	11,731
Abast_6	0	0
Abast_7	5	51,138
Abast_8	2,08	3,122
Abast_9	3,33	10,722
Aqui_1	6,25	64,523
Aqui_1-1	6,25	13,127
Aqui_2	0	0
Aqui_3	4,17	0,552
Canal Acauã-Araçagi	2,08	7,358
Dreno	0	0
Dreno1	0	0
Dreno2	0	0
Dreno3	0	0
Dreno4	0	0
Dreno5	0	0
Irri_1	8,33	21,105
Irri_10	0	0
Irri_11	6,67	0,042
Irri_12	0	0
Irri_13	0	0
Irri_14	4,17	0,657
Irri_15	6,67	1,177
Irri_16	0	0
Irri_17	6,67	1,611
Irri_18	6,67	0,463
Irri_2	6,25	8,672
Irri_3	7,92	5,892
Irri_4	7,92	10,727
Irri_5	0	0
Irri_6	6,25	0,237
Irri_7	4,17	0,079
Irri_9	0	0
Perímetro do Congo	6,67	2,943

Perímetro de Poções	6,67	6,591
Perímetro de Sumé	0	0
Perímetro de Vereda Grande	7,92	6,491

Fonte: Autor (2023)