



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
CAMPUS JOÃO PESSOA
DIRETORIA DE ENSINO SUPERIOR
UNIDADE ACADÊMICA DE DESIGN, INFRAESTRUTURA E AMBIENTE
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM GESTÃO AMBIENTAL**

EMANUELLE MACÊDO VIANA

**ANÁLISE DO IMPACTO DO AUMENTO DA TEMPERATURA NO ATENDIMENTO DE
DEMANDAS HÍDRICAS: CASO DE ESTUDO DO SISTEMA HÍDRICO DO CANAL
ACAUÃ-ARAÇAGI, PARAÍBA**

JOÃO PESSOA – PB

2022

EMANUELLE MACÊDO VIANA

**ANÁLISE DO IMPACTO DO AUMENTO DA TEMPERATURA NO ATENDIMENTO DE
DEMANDAS HÍDRICAS: CASO DE ESTUDO DO SISTEMA HÍDRICO DO CANAL
ACAUÃ-ARAÇAGI, PARAÍBA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – IFPB Campus João Pessoa, como requisito para obtenção do Título de Tecnóloga em Gestão Ambiental.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Mirella Leôncio Motta e Costa

JOÃO PESSOA – PB

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Nilo Peçanha do IFPB, *campus* João Pessoa

V614a Viana, Emanuelle Macêdo.

Análise do impacto do aumento da temperatura no atendimento de demandas hídricas : caso de estudo do sistema hídrico do Canal Acauã – Araçagi, Paraíba / Emanuelle Macêdo Viana. – 2022.

28 f. : il.

TCC (Graduação – Tecnologia em Gestão Ambiental) – Instituto Federal de Educação da Paraíba / Unidade Acadêmica de Infraestrutura, Design e Meio Ambiente, 2022.

Orientação : Prof^a D.ra Mirella Leôncio Motta e Costa.

1. Recursos hídricos. 2. Mudanças climáticas – temperatura. 3. Acquanet. 4. Simulação. I. Título.

CDU 556.18(043)

Lucrecia Camilo de Lima
Bibliotecária – CRB 15/132



DECISÃO 14/2022 - CCSTGA/UA1/UA/DDE/DG/JP/REITORIA/IFPB

EMANUELLE MACÊDO VIANA

ANÁLISE DO IMPACTO DO AUMENTO DA TEMPERATURA NO ATENDIMENTO DE DEMANDAS HÍDRICAS: CASO DE ESTUDO DO SISTEMA HÍDRICO DO CANAL ACAUÃ-ARAÇAGI, PARAÍBA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Tecnologia em Gestão de Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba como requisito parcial para obtenção do título de Tecnóloga em Gestão de Ambiental

Aprovada em 18 de agosto de 2022

Banca Examinadora

Profa. Dra. Mirella Leôncio Motta e Costa (IFPB - JP) Orientadora

Profa. Dra. Cybelle Frazão Costa Braga (IFPB - GUA) Examinadora

Prof. Me. Maria Edelcides Gondim de Vasconcelos (IFPB - JP) Examinadora

(assinado eletronicamente)

JOÃO PESSOA - 2022

Documento assinado eletronicamente por:

- Mirella Leoncio Motta e Costa, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 22/08/2022 14:08:18.
- Maria Edelcides Gondim de Vasconcelos, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 22/08/2022 14:16:43.
- Cybelle Frazao Costa Braga, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 22/08/2022 14:19:31.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 22/08/2022. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código: 328574
Verificador: 2faf765d15
Código de Autenticação:



NOSSA MISSÃO: Ofertar a educação profissional, tecnológica e humanística em todos os seus níveis e modalidades por meio do Ensino, da Pesquisa e da Extensão, na perspectiva de contribuir na formação de cidadãos para atuarem no mundo do trabalho e na construção de uma sociedade inclusiva, justa, sustentável e democrática.

VALORES E PRINCÍPIOS: Ética, Desenvolvimento Humano, Inovação, Qualidade e Excelência, Transparência, Respeito, Compromisso Social e Ambiental.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Área de influência do Canal das Vertentes Litorâneas Acauã-Araçagi	13
Figura 2: Rede de fluxo do Sistema Acauã-Araçagi construída com o Acquanet	17
Figura 3: Resultado de atendimento das demandas agrícolas para o Cenário 1	21
Figura 4: Percentuais de atendimento e déficits das demandas agrícolas para o Cenário 1	21
Figura 5: Resultado de atendimento das demandas agrícolas para o Cenário 2	24
Figura 6: Percentuais de atendimento e déficits das demandas agrícolas para o Cenário 2	24
Figura 7: Perdas por evaporação: a) Cenário 1; b) Cenário 2;	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Estação Campina Grande	14
Tabela 2: Demandas hídricas atuais finais (m ³ /s)	15
Tabela 3: Demandas hídricas atuais e futuras para a irrigação (m ³ /s)	16
Tabela 4: Resultado de atendimento das demandas para o Cenário 1 – temperatura atual	18
Tabela 5: Resultado de atendimento das demandas para o Cenário 1 – temperatura 2006-2037	19
Tabela 6: Resultado de atendimento das demandas para o Cenário 1 – temperatura 2038-2069	19
Tabela 7: Resultado de atendimento das demandas para o Cenário 1 – temperatura 2070-2100	20
Tabela 8: Resultado de atendimento das demandas para o Cenário 2 – temperatura atual	22
Tabela 9: Resultado de atendimento das demandas para o Cenário 2 – temperatura 2006-2037	22
Tabela 10: Resultado de atendimento das demandas para o Cenário 2 – temperatura 2038-2069	23
Tabela 11: Resultado de atendimento das demandas para o Cenário 2 – temperatura 2070-2100	23
Tabela 12: Resultados das perdas por evaporação do reservatório e do canal	25

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Características dos cenários/estados hidrológicos	14
Quadro 2: Distribuição dos municípios segundo os trechos simulados	15

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1. Sistema de Suporte a Decisões AcquaNet	11
1.2. Área de estudo	12
2. MATERIAIS E MÉTODOS	13
2.1. Dados de entrada no modelo	13
2.2. Demandas hídricas	15
2.3. Sistema de Suporte a Decisão AcquaNet	16
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES	17
3.1. Atendimento das Demandas Hídricas - Cenário 1 (Oferta de 10 m ³ /s)	17
3.2. Atendimento das Demandas Hídricas - Cenário 2 (Oferta de 5 m ³ /s)	21
3.3. Resultados da Evaporação	25
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	26
REFERÊNCIAS	27

ANÁLISE DO IMPACTO DO AUMENTO DA TEMPERATURA NO ATENDIMENTO DE DEMANDAS HÍDRICAS: CASO DE ESTUDO DO SISTEMA HÍDRICO DO CANAL ACAUÃ-ARAÇAGI, PARAÍBA

Emanuelle Macêdo Viana; Mirella Leôncio Motta e Costa

RESUMO

A escassez hídrica vem sendo mencionada como um dos principais fatores limitantes do desenvolvimento da região Nordeste brasileira. A falta de disponibilidade hídrica é frequentemente relacionada como um dos obstáculos ao progresso e fator de atuação das políticas públicas, através das obras hídricas, como construções de canais para transposições de bacias hidrográficas como estratégia estrutural de aumento da oferta hídrica. Entretanto, nem sempre são suficientes para resolver as questões de sustentabilidade destes reservatórios, sujeitos a múltiplos usos e incertezas hidrológicas, como as produzidas pelas mudanças climáticas. Nesse olhar, o objetivo desta pesquisa é analisar o impacto das mudanças climáticas no atendimento de demanda de água do sistema hídrico do Canal das Vertentes Litorâneas (Canal Acauã-Araçagi), localizado no estado da Paraíba, em diferentes cenários de atendimento das demandas hídricas atuais e futuras. Para simular o comportamento do Canal foi utilizado o Sistema de Suporte a Decisão AcquaNet, o qual representa uma importante ferramenta para os processos hidrológicos e hidráulicos, pois possibilita o monitoramento contínuo do comportamento e a estimativa das variáveis mais importantes para a tomada de decisões sobre os recursos hídricos. Como resultados, foram observados o atendimento das vazões requeridas para os usos de abastecimento humano e dessedentação animal em todos os cenários e trechos em função de sua prioridade 1. Mesmo apresentando baixa demanda hídrica, o uso de água industrial não foi completamente atendido por apresentar prioridade secundária. E por fim, embora as falhas apresentadas pelo uso da agricultura já ocorressem desde a simulação com temperatura atual, observa-se que as falhas tendem a agravar-se com o aumento das temperaturas.

Palavras-Chave: Recursos hídricos. Mudanças climáticas. Acquanet. Simulação.

ABSTRACT

Water scarcity has been mentioned as one of the main limiting factors for the development of the Brazilian Northeast region. The lack of water availability is often listed as one of the obstacles to development and a factor in the performance of public policies, through water works such as the construction of channels for the transposition of hydrographic basins as a structural strategy to increase water supply. However, they are not always sufficient to resolve the sustainability issues of these reservoirs, subject to multiple uses and hydrological uncertainties, such as those produced by climate change. In this view, the objective of this research is to analyze the impact of climate change on matching the water demand of the water system of the Canal das Vertentes Litorâneas (Canal Acauã-Araçagi), located in the state of Paraíba, in different scenarios of matching the current and future water demands. The AcquaNet Decision Support System was used to simulate the behavior of the Channel, which represents an important tool for hydrological and hydraulic processes, as it enables continuous monitoring of the behavior and the estimation of the most important variables for decision-making on the water resources. As a result, it was observed that the flows required for the uses of human supply and animal watering were observed in all scenarios and sections depending on their priority 1. Even with low water demand, the use of industrial water was not completely match because it presents a secondary priority. Finally, although the failures presented by the use of agriculture had already occurred since the simulation with the current temperature, it is observed that the failures tend to worsen with the increase in temperatures due to climate change.

Keywords: Water resources. Climate Change. Aquanet. Simulation.

1. INTRODUÇÃO

O atual cenário mundial de uso intensivo dos recursos hídricos, de ocorrência de eventos extremos de cheias e secas são objetos de uma crescente preocupação global, especialmente devido ao marco histórico do desenvolvimento humano, que se baseia no acesso e controle do potencial da água como recurso essencial à manutenção da vida e processos produtivos.

Fatores antrópicos, climáticos, quantitativos e qualitativos relacionados aos recursos hídricos interferem no crescimento socioeconômico e, conseqüentemente, no exercício do direito humano de acesso à água. O Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o gerenciamento das águas apontou que “o uso global de água doce aumentou seis vezes nos últimos cem anos e, desde a década de 1980, continua a crescer a uma taxa de cerca de 1% ao ano” (ONU, 2021). Este fato decorre principalmente do fator de crescimento populacional que desempenha papel crucial no desenvolvimento econômico e, conseqüentemente, implica no aumento das demandas por recursos hídricos e da quantidade e intensidade dos conflitos (RODRIGUES, 2021). Dessa forma, determinadas atividades e segmentos da população têm suas demandas reprimidas em função da baixa disponibilidade hídrica e conflitos geopolíticos.

Aliado a isso, a nossa história evolutiva está intrinsecamente ligada a ações humanas que têm provocado um crescente volume de emissões de gases de efeito estufa (GEE), causando o aquecimento global, e conseqüentemente, as mudanças climáticas que ocorrem no planeta, descritas de forma histórica nos relatórios do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) (IPCC, 2007; IPCC, 2013; IPCC, 2021). Entretanto, o Quinto Relatório de Avaliação (AR5) do IPCC (2013) traz que as perspectivas de curto prazo não são otimistas, pois contém projeções de temperatura que indicam alta mortalidade por eventos extremos, obstáculos na produtividade agrícola e riscos de escassez hídrica.

Por conseqüência do aumento da temperatura, há também o aumento da evaporação da água, o que causa alterações na umidade do solo, no escoamento, no regime de chuvas. Este aumento de evaporação pode causar grandes variações na oferta hídrica, podendo acarretar dificuldades quanto a sua distribuição (SOBRAL *et al.*, 2018). Marengo e Chou (2017), trazem que essas previsões acabam por colocar mais demandas nos sistemas de gestão da água, especialmente nas regiões mais secas, pois são historicamente mais vulneráveis às mudanças climáticas e aos seus respectivos impactos.

No contexto global, o Brasil apresenta grande oferta hídrica, mas em análises regionais, constata-se que as relações de oferta e demanda não são uniformes (LOPES *et al.*, 2021). O Nordeste brasileiro apresenta destaque, em razão dos baixos índices de precipitação, irregularidade em seu regime, temperaturas elevadas durante o ano todo, baixa capacidade de armazenamento de água no solo, entre outros fatores, que contribuem diretamente para os reduzidos valores de disponibilidade hídrica (ANA, 2019). A existência de regiões que apresentam grande pressão sobre os sistemas hídricos – considerando aspectos quantitativos e/ou qualitativos – indica a necessidade urgente de avaliar e prever a tendência e evolução dos recursos hídricos, além de formular políticas de gestão adequadas para lidar com a crise hídrica cada vez mais grave (LOPES *et al.*, 2021).

Mendes (2021) enfatiza a necessidade da realização de estudos hidrológicos em bacias hidrográficas para compreender o funcionamento do balanço hídrico, nos processos que controlam o movimento da água e seu possível impacto na quantidade e na qualidade da água ofertada na região.

Pautado em tais premissas, a implementação da Gestão Integrada de Recursos Hídricos (GIRH), com a aplicação de estudos hidrológicos, antevêem o aumento das demandas hídricas que precisam ser equacionadas para refletir a sustentabilidade da bacia hidrográfica. Por meio do estabelecimento da Lei Federal nº 9.433/1997 que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, os princípios da GIRH foram absorvidos nacionalmente, principalmente quando busca “assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos” (BRASIL, 1997). Nessa perspectiva, a sustentabilidade hídrica de bacias hidrográficas, envolve os diversos componentes da Gestão Integrada de Recursos Hídricos, que segundo Lopes *et al.* (2021), incluem conteúdos técnicos, políticos, legislativos e organizacionais.

No que concerne ao exercício da tomada de decisão que é requerido no planejamento e na gestão dos recursos hídricos, são incontestáveis a importância e utilidade das ferramentas de modelagem hidrológica (MENDES, 2021). Tucci (1998) define os modelos hidrológicos de Sistema de Suporte à Decisão (SSD) como uma ferramenta utilizada para representar os processos que ocorrem na bacia hidrográfica e prever as conseqüências das diferentes ocorrências em relação aos valores observados.

Outro conceito importante relacionado aos modelos hidrológicos é a avaliação em diferentes escalas espaciais e temporais, que segundo Mendes (2021), podem ser aplicados para avaliar estratégias de gerenciamento de recursos hídricos e respostas de bacias hidrográficas à variações climáticas periódicas, cheias de projeto, cheias em tempo real, dentre outras situações.

Essa definição e de outros autores como Lima (2019), Silva (2019) e Vasconcelos (2020), apresentam bastante acordo em tratar-se de ferramentas computacionais que representam o comportamento de bacias hidrográficas, com o objetivo de entendê-las e buscar respostas para diferentes simulações. Busca-se assim, a representação dos processos hidrológicos e hidráulicos possibilitando o monitoramento contínuo do seu comportamento e a estimativa das variáveis mais importantes para a tomada de decisões sobre os recursos hídricos.

Diante das relevantes contribuições dos SSDs nos processos de gerenciamento dos recursos hídricos, desenvolveu-se simulações da operação do sistema hídrico do Canal de Integração Acauã-Araçagi após a chegada da vazão do Eixo Leste do Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF), no Estado da Paraíba. Para tanto, utilizou-se o SSDs AcquaNet, visando a apoiar o complexo processo decisório na região diante de diferentes cenários.

Neste panorama, prezando pelo compartilhamento de experiências, apresentam-se neste estudo uma análise do impacto das mudanças climáticas na sustentabilidade – confiabilidade, resiliência e vulnerabilidade - do sistema hídricos do Canal Acauã-Araçagi, destacando suas contribuições no apoio à gestão e ao planejamento dos recursos hídricos de bacias no estado da Paraíba beneficiadas pelo projeto.

1.1. Sistema de Suporte a Decisões AcquaNet

No cenário nacional brasileiro, dentre os modelos hidrológicos de Sistema de Suporte à Decisão (SSD) utilizados atualmente, o software denominado AcquaNet tem auxiliado diversas pesquisas como ferramentas de simulação para subsidiar a gestão e o planejamento de recursos hídricos (LIMA, 2019; CARDOSO, 2021; LOPES *et al.*, 2021; RODRIGUES, 2021) e para simular balanço hídrico quantitativo em planos de recursos hídricos (PDRH-PPA, 2015; PERH-2021).

O Acquanet foi premiado na categoria de Pesquisa e Inovação Tecnológica, da Agência Nacional de Águas (ANA) em 2017, por sua contribuição para a gestão e o uso sustentável da água do país (ANA, 2021). O modelo possibilita a simulação de sistemas de recursos hídricos de forma bastante detalhada e simples (LIMA, 2019).

O AcquaNet é um modelo matemático de rede de fluxo para simulação de bacias hidrográficas, que visa dar suporte à tomada de decisões no gerenciamento de recursos hídricos. Segundo Lopes *et al.* (2021), foi desenvolvido, pelo Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões em Engenharia Ambiental e de Recursos Hídricos (LabSid) da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (LabSid / USP) através de algumas mudanças feitas do modelo que o originou (o ModSim que foi desenvolvido no Colorado State University, nos Estados Unidos, na década de 1980), com o intuito de facilitar a comunicação do usuário com o computador, a formulação do problema e interpretação dos resultados por ele obtidos.

A interface é composta por macros e planilhas auxiliares, que permitem visualizar todos os dados dos elementos da rede de fluxo num ambiente mais flexível, sendo possível maior liberdade de verificar e de manipular os resultados dos cálculos (SCHARDONG *et al.*, 2009). Pode ser utilizado para simulações de reservatórios, sendo bastante relevante diante de problemas de gestão de alocação da água em situações de crise hídrica (LIMA, 2019).

Lucena (2018) destaca, dentre as características mais importantes do Acquanet, o fato da sua modelagem não ser complicada, pois ocorre a incorporação automática de uma série de funções pertinentes à simulação das bacias hidrográficas sem que o usuário tenha de se preocupar em programá-las.

Ainda segundo a autora, as características mais importantes são: a) os usuários podem colocar quantos nós de demanda forem necessários para levar em conta as demandas na bacia (consuntivas ou não). Cada demanda será atendida seguindo a ordem de prioridade de 1 a 99, atribuída pelo usuário, onde 1 é a maior prioridade e, caso ocorram déficits, as demandas com menor prioridade são reduzidas em primeiro lugar; b) a operação do reservatório é feita utilizando o conceito de volume meta ou nível meta, ao qual se atribui uma prioridade. Dessa forma, sempre que o volume armazenado for menor que o volume-meta, o reservatório guardará água, desde que as outras prioridades da rede sejam menores; c) as perdas por evaporação dos reservatórios são consideradas através de processo iterativo (LUCENA, 2018).

Logo, a distribuição da água é feita de acordo com prioridades (preferências) estabelecidas pelo usuário. Mesmo sabendo que o AcquaNet simula uma rede de fluxo complexa, é importante reafirmar o envolvimento não só de questões ambientais, mas também aspectos econômicos, legais e sociais que podem ser associados à realidade.

Estudos recentes utilizaram o AcquaNet para diversas aplicações: detalhamento das características necessárias à análise da área (RODRIGUES, 2021), sistemas de alocação de águas eficientes (CARDOSO, 2021) e em processos de tomada de decisão (CARDOSO, 2021; LOPES *et al.*, 2021; RODRIGUES, 2021).

1.2. Área de estudo

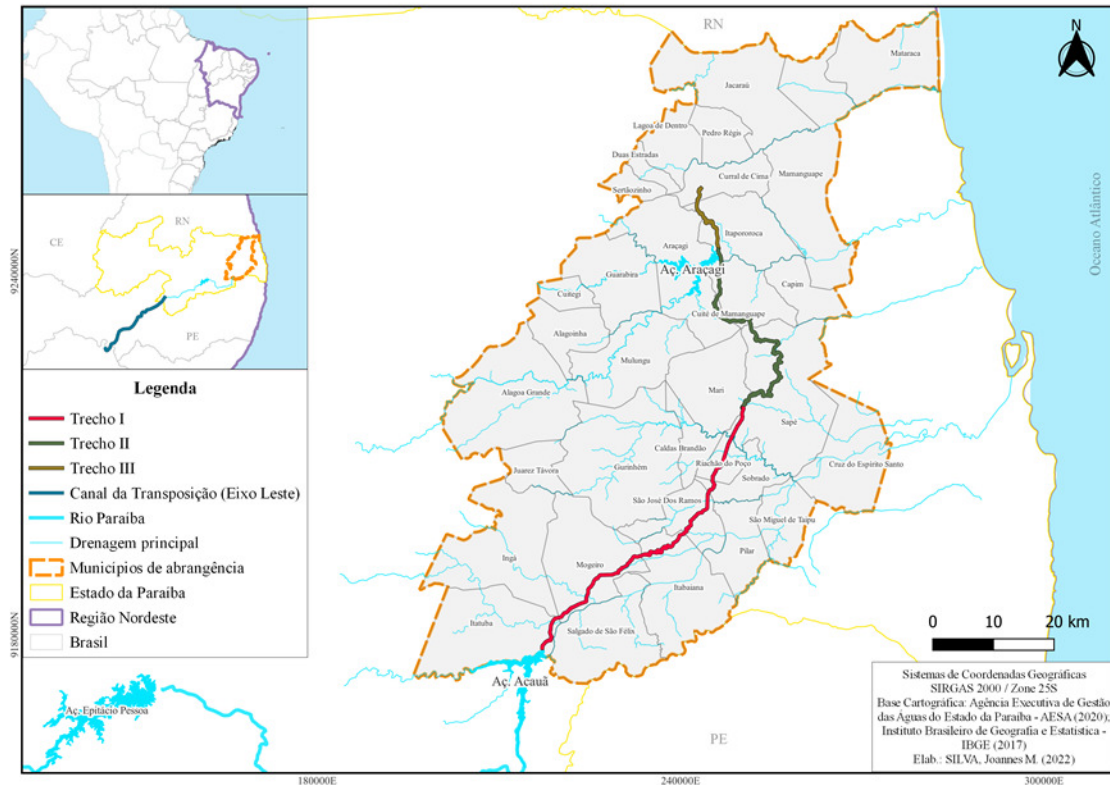
O sistema hídrico desta pesquisa corresponde ao Canal das Vertentes Litorâneas (Canal Acauã-Araçagi), cujo objetivo é assegurar a segurança hídrica de atendimento das demandas hídricas da região. Trata-se de uma obra complementar ao Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF) com as Bacias do Nordeste Setentrional, a partir do Eixo Leste.

A operação do eixo Leste do PISF inicia-se no ponto de captação localizado no reservatório de Itaparica-PE. Com desnível de 304 m ao longo do trecho, as águas do rio São Francisco percorrerão ao todo 220 km até a bacia hidrográfica do rio Paraíba. Com uma área de drenagem de 20.071,83 km², o rio Paraíba está compreendido entre as latitudes 6°51'31" e 8°26'21" Sul e as longitudes 34°48'35" e 37°2'15" Oeste de Greenwich, e será responsável pela manutenção dos níveis do açude Epitácio Pessoa (Boqueirão). Sua vazão está estimada para 28 m³/s, em seu máximo, mas trabalhará com vazão contínua de 10 m³/s (RIMA, 2004).

O Canal das Vertentes Litorâneas está dividido em três trechos (Figura 1). O primeiro trecho, com comprimento de 63,08 km começa no açude de Acauã, no rio Paraíba, se estendendo até o rio Gurinhém, abrangendo municípios como Itatuba, Ingá, Mogeiro, Itabaiana e São José dos Ramos. O segundo trecho possui 53,40 km, desde o rio Gurinhém até o açude Araçagi, beneficiando os municípios de Sobrado, Riachão do Poço, Sapé, Mari, Cuité de Mamanguape e Araçagi. O terceiro trecho, com 14,00 km de comprimento, parte do açude Araçagi e segue até o rio Camaratuba, na altura do município de Curral de Cima, integrando dessa maneira as bacias hidrográficas existentes nesse percurso. O Canal foi projetado para iniciar a captação com vazão de dimensionamento de 10 m³/s no trecho 1, diminui para 6,5 m³/s no trecho 2 e finaliza no trecho 3 com 2,5 m³/s, contemplando através do rio principal e seus afluentes, cerca de 38 municípios (BRASIL, 2007).

Diante disso, o Canal Acauã-Araçagi é considerado, atualmente, pelo governo da Paraíba como a maior obra hídrica da região, possibilitando a irrigação para agricultura familiar, irrigação empresarial e também segurança hídrica às cidades localizadas ao longo do canal (A UNIÃO, 2017).

Figura 1: Área de influência do Canal das Vertentes Litorâneas Acauã-Araçagi



Fonte: elaborado pelas autoras.

Segundo o Plano Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba (PERH-PB, 2006), a região apresenta uma climatologia irregular, relacionada diretamente à distribuição temporal da precipitação, além de diferentes tipos de vegetação e variabilidade da disponibilidade hídrica (AES A, 2022).

Esses potenciais limitadores para a região levaram a distintas atividades produtivas, destacando-se a produção agrícola voltada ao cultivo de cana-de-açúcar, abacaxi, milho, mandioca, feijão e banana. Dentre as quais, destaca-se a cana-de-açúcar, que ocupa 42,1% da área dedicada à agricultura no estado e possui um rendimento médio de 55 mil toneladas por ano da safra e produto, conforme dados do IBGE (2020). A indústria é pouco expressiva, destacando-se a fabricação de produtos alimentícios (FIEP, 2015).

A área de estudo possui 493.350 habitantes (12,15% da população do estado) e Índice de Desenvolvimento Humano - IDH de 0,566 considerado baixo (IBGE, 2010; ATLAS BR, 2020).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Dados de entrada no modelo

Foi realizado o levantamento dos dados de evaporação, vazões naturais afluentes ao reservatório, demandas hídricas e características do Canal Acauã-Araçagi, como o seu volume inicial, máximo e mínimo e a sua relação cota-área-volume. Estes dados foram calculados e fornecidos pelo Projeto Interconecta/2019-2021, executado na modalidade de projeto de pesquisa do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – IFPB, que teve como objetivo analisar a gestão e a sustentabilidade dos recursos hídricos de bacias hidrográficas paraibanas.

Para a realização das simulações do sistema hídrico do canal das Vertentes Litorâneas (Canal Acauã-Araçagi) foram estabelecidos três cenários, que consideram a variação da oferta hídrica disponibilizada pelo canal, os usos da água atendidos e as variabilidades climáticas (Quadro 1).

Quadro: 1 Características dos cenários/estados hidrológicos

Características para elaboração dos cenários/estados hidrológicos		
Oferta hídrica	Usos da água atendidos	Variabilidade climática
- 100% da vazão (10 m ³ /s) - 50% da vazão (5 m ³ /s)	- Abastecimento Humano; - Dessedentação animal; - Irrigação; - Indústria;	- Evaporação média atual; - Evaporação acima da média considerando 3 períodos;

Os dados de temperatura médias mensais considerados nesta pesquisa correspondem aos valores monitorados na estação climatológica localizada no município de Campina Grande, estação com dados históricos de temperatura que se localiza mais próxima do canal (Tabela 1).

Tabela 1: Estação Campina Grande

Períodos	Temperatura (°C)												
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média anual
Atual	25,3	25,4	25,3	24,8	24,1	22,9	22,4	22,6	23,5	24,5	24,9	25,3	24,2
P1 (2006-2037)	25,9	26,1	26,0	25,4	24,8	23,7	23,2	23,3	24,2	25,1	25,7	26,1	25,0
P2 (2038-2069)	26,6	26,9	26,7	26,0	25,3	24,3	23,7	23,9	24,8	25,7	26,3	26,8	25,6
P3 (2070-2100)	27,1	27,2	27,2	26,5	25,7	24,7	24,0	24,3	24,4	26,2	26,7	27,2	25,9

Fonte: INMET (2022); CORDEX (2017); MEIRA (2017).

Em função das variáveis climáticas que impactam diretamente o meio ambiente e diversos setores socioeconômicos e estruturais. A análise das temperaturas reais e respectivas projeções futuras para a região foram realizadas através da aplicação do método de *Delta change*, o qual corresponde a uma anomalia entre valores estimados pelos modelos climáticos no período futuro em relação ao período atual (NAITZEL, 2021).

Os dados da correção das incertezas da temperatura observada foram acrescidos do correspondente aumento da temperatura (variabilidade do clima futuro menos a variabilidade do clima atual, a partir dos Modelos de Circulação Regional (MCRs)). Segundo Meira (2017), o modelo MPI-ESM-LR-REMO2009 foi o que melhor representou o clima atual, dessa forma foram utilizados neste trabalho os resultados do *Delta change* para esse modelo. As projeções futuras de variáveis climatológicas foram desenvolvidas, ao todo, em três intervalos de tempo, conforme Meira (2017): o primeiro (P1) de curto prazo (2006-2037), o segundo (P2) médio prazo (2038-2069) e o terceiro (P3) longo prazo (2069-2100).

Dessa forma, a inserção da variabilidade climática nas simulações foi considerada em três momentos: i) evaporação média mensal do reservatório; ii) evapotranspiração das culturas; iii) perda por evaporação diretamente pelo canal.

Com relação às vazões afluentes, foram utilizados os dados das vazões naturais afluentes ao reservatório Acauã, correspondente à série histórica de afluentes ao rio Paraíba, gerada a partir da chuva observada, numa escala mensal, no período de 1917 a 1991. No que diz respeito às características do Açude Acauã, o mesmo possui um volume máximo de 253.000.000 m³. Para efeito de análise dos cenários propostos, foi adotado que o volume inicial do referido reservatório correspondia a 30% do seu volume máximo, correspondendo, portanto, a 63.250.000 m³. Ademais, foi atribuída aos trechos II e III prioridade 2 e 3 respectivamente, o que significa que a água só ficará acumulada no açude caso a oferta hídrica seja maior do que a soma de todas as demandas.

Para fins de simulação, os municípios considerados para a área de estudo foram distribuídos ao longo dos trechos do canal, utilizando o critério de proximidade, conforme o Quadro 2.

Quadro: 2 Distribuição dos municípios segundo os trechos simulados

TRECHO	Reservatório	Trecho I: Itatuba – Gurinhém	Trecho II: Gurinhém – Araçagi	Trecho III: Araçagi – Camaratuba
Municípios	Aroeiras Gado Bravo Ingá Itabaiana Itatuba Juripiranga Mogéiro Pilar Salgado de São Félix São Miguel de Taipu	Caldas Brandão Cruz do Espírito Santo Gurinhém Juarez Távora Mari Riachão do Poço São José dos Ramos Sapé (40%) Sobrado	Alagoa Grande Alagoinha Araçagi Capim Cuité de Mamanguape Cuitegi Guarabira Mamanguape (30%) Mulungu Sapé (60%)	Curral de Cima Duas Estradas Itaporoca Jacaraú Lagoa de Dentro Mamanguape (70%) Mataraca Pedro Régis Sertãozinho

Devido a alta demanda hídrica calculada para os municípios de Sapé e Mamanguape, para fins de simulação, estas foram divididas conforme o percentual apresentado no Quadro 2.

2.2. Demandas hídricas

Para o cálculo dos cenários simulados com a análise do atendimento das demandas hídricas, foram utilizadas as demandas atuais para abastecimento humano, que totalizaram 1,105 m³/s. Para esta demanda foi atribuída prioridade 1, o que significa dizer que esta demanda será atendida com prioridade máxima, minimizando assim a escassez hídrica para o abastecimento humano. A prioridade ao abastecimento humano e dessedentação animal é preconizada pela Lei Federal 9.433/97, em situações de escassez hídrica (BRASIL, 1997).

No tocante à demanda para a dessedentação animal, as estimativas utilizadas foram calculadas a partir dos dados do efetivo dos rebanhos, por tipo de rebanho, disponibilizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020), para o ano de 2020, e totalizaram 0,181 m³/s. Para esta demanda está atribuída a prioridade 1.

Para a realização da estimativa de demanda para o uso industrial, foram utilizados os dados do documento de Cadastro Industrial das Indústrias do Estado da Paraíba (FIEP, 2016) e do Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE), referentes ao ano de 2016 e totalizaram 0,328 m³/s. Para esta demanda foi atribuída prioridade 30.

Em relação à demanda para irrigação, as estimativas foram desenvolvidas através do método de coeficientes de cultura (Kc) específico para cada tipo de cultura, de acordo com os dados referentes às áreas plantadas ou destinadas à colheita (em hectares) de lavouras temporárias e permanentes em hectares disponibilizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2018). O sistema hídrico simulado apresenta uma demanda de 18,380 m³/s de água destinada à agricultura. Para esta demanda foi atribuída prioridade 30, o que significa dizer que ela só será atendida após suprido as demandas prioritárias, como a de abastecimento humano e a dessedentação animal. O resumo das demandas hídricas atuais calculadas está apresentado na Tabela 2.

Tabela 2: Demandas hídricas atuais finais (m³/s)

Trechos	Demandas hídricas atuais finais (m ³ /s)			
	Abastecimento Humano	Animal	Indústria	Agrícola
Reservatório	0,295	0,055	0,108	3,468
Trecho 1	0,214	0,037	0,010	4,290
Trecho 2	0,443	0,061	0,119	5,974
Trecho 3	0,153	0,028	0,091	4,648
Total	1,105	0,181	0,328	18,380

Para que fosse possível observar o impacto das mudanças climáticas na temperatura, evaporação e evapotranspiração das culturas, utilizou-se a mesma variação percentual observada na variação das temperaturas por meio do método *Delta Change* obtido em Meira (2017). Dessa forma, sofreram variação os valores de evaporação média mensal (utilizada como dado de entrada do modelo Acquanet) e a evapotranspiração potencial (utilizada para o cálculo da demanda hídrica das culturas). O resumo das demandas hídricas agrícolas para o período atual e períodos futuros está apresentado na Tabela 3.

Tabela 3: Demandas hídricas atuais e futuras para a irrigação (m³/s)

Trecho	Demanda Agrícola (m ³ /s)			
	Atual	2006-2037	2038-2069	2070-2100
Reservatório	3,468	3,570	3,659	3,709
Trecho 1	4,290	4,416	4,526	4,588
Trecho 2	5,974	6,149	6,303	6,389
Trecho 3	4,648	4,784	4,904	4,971
Total	18,38	18,92	19,39	19,66

Ressalta-se que, embora se preveja que no futuro haverá variação nas demandas hídricas de abastecimento, pecuária e indústria, para fins de simulação, essas demandas permanecerão inalteradas. Não foram considerados também os impactos das alterações econômicas e sociais ao longo do tempo nas demandas hídricas.

Para fins de simulação, adotar-se-á como hipótese para os cenários, um período de estiagem prolongada, em que os corpos hídricos naturais não conseguem atender às demandas hídricas, sendo necessário a adução da oferta hídrica do PISF e atendimento das demandas pelo Canal das Vertentes Litorâneas (Acauã-Araçagi). Dessa forma, caberá ao Canal buscar atender às demandas hídricas de abastecimento humano, dessedentação animal, indústria e irrigação.

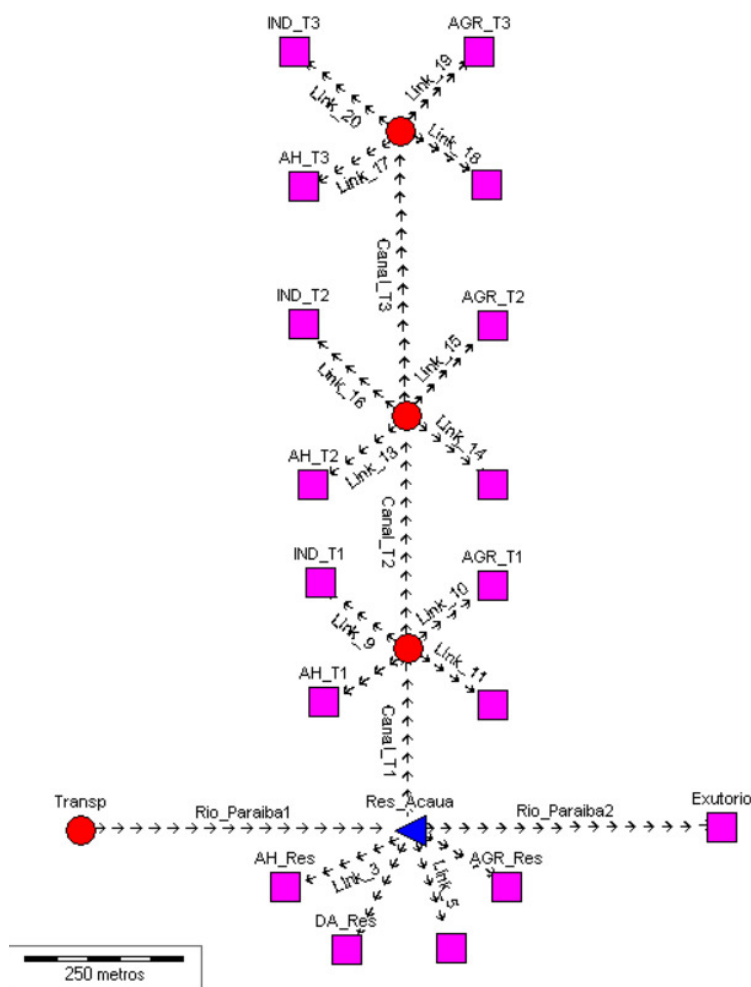
2.3. Sistema de Suporte a Decisão AcquaNet

Para análise do desempenho do sistema hídrico do Canal Acauã-Araçagi e verificação da dinâmica do sistema para diferentes situações e sua respectiva capacidade de resposta, utilizou-se o Sistema de Suporte a Decisão AcquaNet.

A rede de fluxo criada para esta pesquisa encontra-se na Figura 2. Nessa rede foram inseridos 1 reservatório, 4 nós de passagem, 25 links e 17 demandas, sendo 16 demandas de usos de água e 1 demanda do exutório da bacia.

É importante salientar que o sistema hídrico real é mais complexo que o apresentado nesta pesquisa, uma vez que existem outros corpos hídricos (rios e reservatórios), que não puderam ser simulados em função da falta de dados disponíveis.

Figura 2: Rede de fluxo do Sistema Acauã-Araçagi construída com o Acquanet



Fonte: elaborado pelas autoras

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para análise do desempenho de atendimento das demandas de água do sistema Acauã-Araçagi foram utilizados dois cenários/estados hidrológicos, com horizonte de análise de 95 anos (ano inicial 2006 e ano final de 2100). Para considerar a variabilidade climática, foram admitidas quatro simulações, sendo uma para o período atual e três para cada período futuro. Ressalta-se que a correlação da afluência está ligada ao grau de atendimento das prioridades das demandas, por meio da avaliação dos déficits e perdas naturais do sistema por evaporação.

3.1. Atendimento das Demandas Hídricas - Cenário 1 (Oferta de 10 m³/s)

Realizadas as simulações, foi observado o grau de atendimento a cada demanda considerando o Cenário 1 (oferta hídrica de 10 m³/s), conforme apresentado nas Tabelas 4 a 7 apresentadas a seguir pelo software Acquanet.

Como pode ser percebido na Tabela 4, para o Cenário 1 (oferta hídrica de 10 m³/s) com a temperatura atual, foram observados o atendimento a todas as vazões requeridas para os usos de abastecimento humano (AH) e dessedentação animal (DA) em todos trechos em função da variável de interesse dos usos da água ter a prioridade I. Entretanto, foram observadas falhas de atendimento das vazões requeridas para o uso na

agricultura (AGR) e uso industrial (IND) em todos os trechos (T1, T2 e T3). Tanto observados no tempo abaixo da demanda necessária, na frequência de falhas (frequência abaixo da demanda necessária), no volume que não foi atendido no período simulado (volume acumulado dos déficits), quanto na vazão média fornecida para cada demanda. Tais falhas podem ser relacionadas tanto às prioridades das demandas (agricultura prioridade II e uso industrial prioridade III), quanto às prioridades atribuídas aos trechos II e III (2 e 3 respectivamente), demonstrando que ocorreu um aumento gradativo no déficit do volume que não foi atendido. Igualmente visto nas Tabelas 4 a 7, que apresentam a variável climática diante das projeções futuras.

Tabela 4: Resultado de atendimento das demandas para o Cenário 1 – temperatura atual

Demandas	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 média fornecida (% da demanda média necessária)	Vazão média fornecida quando ocorrem falhas (m³/s)	Vazão mínima fornecida (m³/s)
AGR_Res	0	0,000	0,000	3,468	3,468	100,000	3,468	3,468
AGR_T1	5	22,460	311,915	4,290	4,186	97,570	3,826	3,307
AGR_T2	1140	100,000	5205,798	5,974	4,236	70,910	4,236	4,130
AGR_T3	1140	100,000	13924,941	4,648	0,000	0,000	0,000	0,000
AH_Res	0	0,000	0,000	0,295	0,295	100,000	0,295	0,295
AH_T1	0	0,000	0,000	0,214	0,214	100,000	0,214	0,214
AH_T2	0	0,000	0,000	0,443	0,443	100,000	0,443	0,443
AH_T3	0	0,000	0,000	0,153	0,153	100,000	0,153	0,153
DA_Res	0	0,000	0,000	0,055	0,055	100,000	0,055	0,055
DA_T1	0	0,000	0,000	0,037	0,037	100,000	0,037	0,037
DA_T2	0	0,000	0,000	0,061	0,061	100,000	0,061	0,061
DA_T3	0	0,000	0,000	0,028	0,028	100,000	0,028	0,028
Exutorio	1140	100,000	293737,969	100,000	1,954	1,950	1,954	0,000
IND_Res	0	0,000	0,000	0,108	0,108	100,000	0,108	0,108
IND_T1	5	22,460	6,728	0,010	0,008	77,540	0,000	0,000
IND_T2	1140	100,000	356,517	0,119	0,000	0,000	0,000	0,000
IND_T3	1140	100,000	272,630	0,091	0,000	0,000	0,000	0,000

Tabela 5: Resultado de atendimento das demandas para o Cenário 1 – temperatura 2006-2037

Demandas	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 média fornecida (% da demanda média necessária)	Vazão média fornecida quando ocorrem falhas (m³/s)	Vazão mínima fornecida (m³/s)
AGR_Res	0	0,000	0,000	3,570	3,570	100,000	3,570	3,570
AGR_T1	6	23,950	384,636	4,416	4,288	97,090	3,880	3,332
AGR_T2	1140	100,000	6462,640	6,149	3,992	64,920	3,992	3,861
AGR_T3	1140	100,000	14332,399	4,784	0,000	0,000	0,000	0,000
AH_Res	0	0,000	0,000	0,295	0,295	100,000	0,295	0,295
AH_T1	0	0,000	0,000	0,214	0,214	100,000	0,214	0,214
AH_T2	0	0,000	0,000	0,443	0,443	100,000	0,443	0,443
AH_T3	0	0,000	0,000	0,153	0,153	100,000	0,153	0,153
DA_Res	0	0,000	0,000	0,055	0,055	100,000	0,055	0,055
DA_T1	0	0,000	0,000	0,037	0,037	100,000	0,037	0,037
DA_T2	0	0,000	0,000	0,061	0,061	100,000	0,061	0,061
DA_T3	0	0,000	0,000	0,028	0,028	100,000	0,028	0,028
Exutorio	1140	100,000	293703,406	100,000	1,965	1,970	1,965	0,000
IND_Res	0	0,000	0,000	0,108	0,108	100,000	0,108	0,108
IND_T1	6	24,120	7,214	0,010	0,008	75,920	0,000	0,000
IND_T2	1140	100,000	356,517	0,119	0,000	0,000	0,000	0,000
IND_T3	1140	100,000	272,630	0,091	0,000	0,000	0,000	0,000

Tabela 6: Resultado de atendimento das demandas para o Cenário 1 – temperatura 2038-2069

Demandas	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 média fornecida (% da demanda média necessária)	Vazão média fornecida quando ocorrem falhas (m³/s)	Vazão mínima fornecida (m³/s)
AGR_Res	0	0,000	0,000	3,659	3,659	100,000	3,659	3,659
AGR_T1	5	26,320	465,180	4,526	4,371	96,570	3,936	3,340
AGR_T2	1140	100,000	7599,504	6,303	3,766	59,760	3,766	3,608
AGR_T3	1140	100,000	14691,974	4,904	0,000	0,000	0,000	0,000
AH_Res	0	0,000	0,000	0,295	0,295	100,000	0,295	0,295
AH_T1	0	0,000	0,000	0,214	0,214	100,000	0,214	0,214
AH_T2	0	0,000	0,000	0,443	0,443	100,000	0,443	0,443
AH_T3	0	0,000	0,000	0,153	0,153	100,000	0,153	0,153
DA_Res	0	0,000	0,000	0,055	0,055	100,000	0,055	0,055
DA_T1	0	0,000	0,000	0,037	0,037	100,000	0,037	0,037
DA_T2	0	0,000	0,000	0,061	0,061	100,000	0,061	0,061
DA_T3	0	0,000	0,000	0,028	0,028	100,000	0,028	0,028
Exutorio	1140	100,000	293654,844	100,000	1,982	1,980	1,982	0,000
IND_Res	0	0,000	0,000	0,108	0,108	100,000	0,108	0,108
IND_T1	5	26,580	7,958	0,010	0,007	73,440	0,000	0,000
IND_T2	1140	100,000	356,517	0,119	0,000	0,000	0,000	0,000
IND_T3	1140	100,000	272,630	0,091	0,000	0,000	0,000	0,000

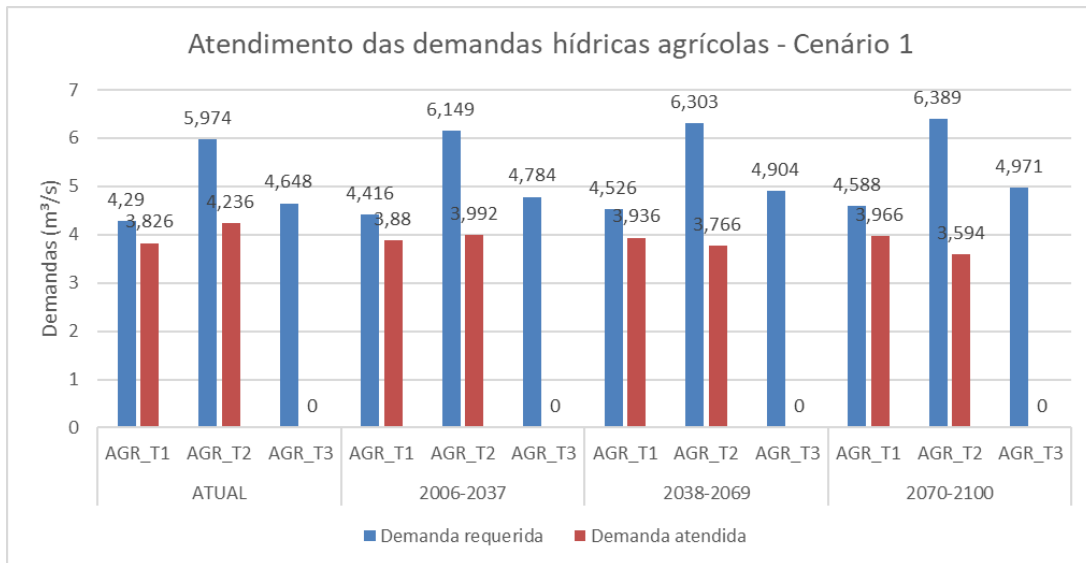
Tabela 7: Resultado de atendimento das demandas para o Cenário 1 – temperatura 2070-2100

Demandas	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 média fornecida (% da demanda média necessária)	Vazão média fornecida quando ocorrem falhas (m³/s)	Vazão mínima fornecida (m³/s)
AGR_Res	0	0,000	0,000	3,709	3,709	100,000	3,709	3,709
AGR_T1	6	30,700	572,294	4,588	4,397	95,840	3,966	3,312
AGR_T2	1140	100,000	8373,246	6,389	3,594	56,250	3,594	3,400
AGR_T3	1140	100,000	14892,607	4,971	0,000	0,000	0,000	0,000
AH_Res	0	0,000	0,000	0,295	0,295	100,000	0,295	0,295
AH_T1	0	0,000	0,000	0,214	0,214	100,000	0,214	0,214
AH_T2	0	0,000	0,000	0,443	0,443	100,000	0,443	0,443
AH_T3	0	0,000	0,000	0,153	0,153	100,000	0,153	0,153
DA_Res	0	0,000	0,000	0,055	0,055	100,000	0,055	0,055
DA_T1	0	0,000	0,000	0,037	0,037	100,000	0,037	0,037
DA_T2	0	0,000	0,000	0,061	0,061	100,000	0,061	0,061
DA_T3	0	0,000	0,000	0,028	0,028	100,000	0,028	0,028
Exutorio	1140	100,000	293589,844	100,000	2,003	2,000	2,003	0,000
IND_Res	0	0,000	0,000	0,108	0,108	100,000	0,108	0,108
IND_T1	6	30,880	9,222	0,010	0,007	69,220	0,000	0,000
IND_T2	1140	100,000	356,517	0,119	0,000	0,000	0,000	0,000
IND_T3	1140	100,000	272,630	0,091	0,000	0,000	0,000	0,000

Observa-se nas Tabelas 5, 6 e 7 os resultados de atendimento das demandas para o Cenário 1 (oferta hídrica de 10 m³/s) com as respectivas projeções climáticas para temperaturas a curto, médio e longo prazo (2006-2037, 2038-2069 e 2070-2100). Logo, fica claro que há o atendimento das demandas estabelecidas para abastecimento humano (AH) e dessedentação animal (DA) e todos os trechos simulados devido à frequência de falhas ser nula.

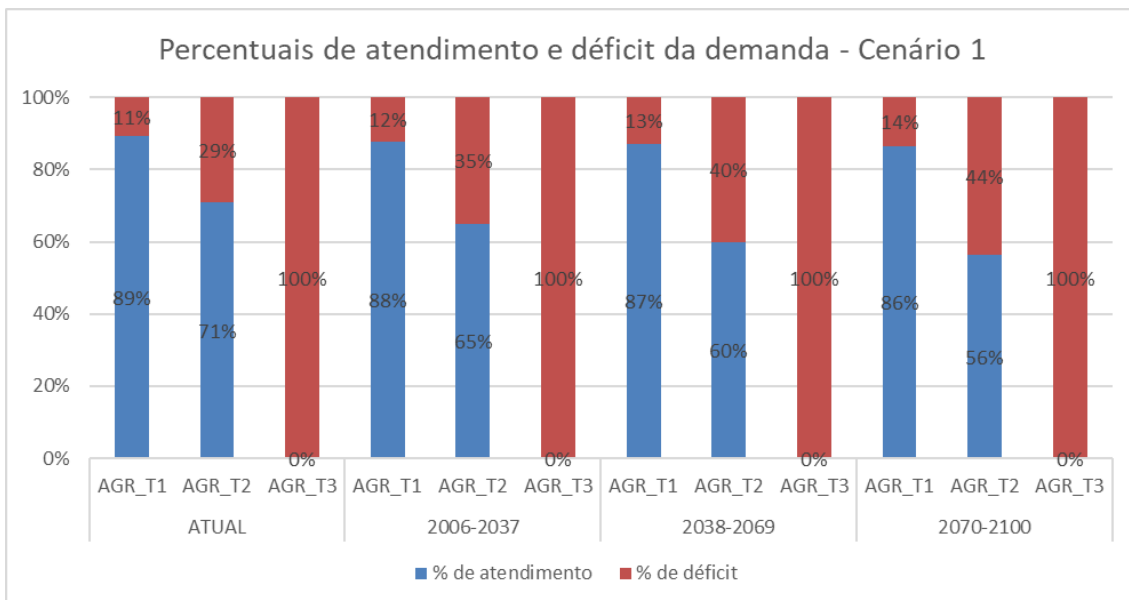
Porém as falhas apresentadas no atendimento das demandas deste cenário continuam relacionadas à ao uso na agricultura (AGR) e ao uso industrial (IND) em todos os trechos (T1, T2 e T3). Fato já esperado, segundo Meira (2017), que relaciona a irrigação a uma prática que assegura a produtividade das culturas em condições de aumento de temperatura e efeito estufa, e conseqüentemente, viabiliza a subsistência nas áreas rurais. De maneira simplificada é possível observar a discrepância do uso da água na agricultura, ao compararmos o déficit de atendimento que ocorre entre a demanda requerida (demanda média necessária) e a demanda atendida (vazão média fornecida) em cada trecho, conforme o Figura 3.

Figura 3: Resultado de atendimento das demandas agrícolas para o Cenário 1



Conforme apresentado na Figura 4, a demanda AGR_T3 teve 100% de falhas em todos os cenários. A demanda AGR_T1 teve seu percentual de déficit aumentado gradativamente de 11% (atual), 12% (curto prazo), 13% (médio prazo) e 14% (longo prazo). Da mesma forma, a demanda AGR_T2 apresentou aumento gradativo de déficit de 29% (atual), 35% (curto prazo), 40% (médio prazo) e 44% (longo prazo). Logo, pode-se afirmar que embora as falhas apresentadas pelo uso da agricultura já ocorressem desde a simulação com temperatura atual, elas tendem a se agravar com o aumento das temperaturas.

Figura 4: Percentuais de atendimento e déficits das demandas agrícolas para o Cenário 1



3.2. Atendimento das Demandas Hídricas - Cenário 2 (Oferta de 5 m³/s)

No Cenário 2 foi considerada a vazão de entrada de 5,0 m³/s, porém foram mantidos os demais dados de entrada do modelo. Realizadas as simulações, foi observado o grau de atendimento a cada demanda, conforme apresentado nas Tabelas 8 a 11 apresentadas a seguir pelo software Acquanet.

Tabela 8: Resultado de atendimento das demandas para o Cenário 2 – temperatura atual

Demandas	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 média fornecida (% da demanda média necessária)	Vazão média fornecida quando ocorrem falhas (m³/s)	Vazão mínima fornecida (m³/s)
AGR_Res	0	0,000	0,00	3,468	3,468	100,000	3,468	3,468
AGR_T1	2	10,260	57,98	4,290	4,271	99,550	4,101	3,802
AGR_T2	1140	100,000	17.447,20	5,974	0,150	2,520	0,150	0,130
AGR_T3	1140	100,000	13.924,94	4,648	0,000	0,000	0,000	0,000
AH_Res	0	0,000	0,00	0,295	0,295	100,000	0,295	0,295
AH_T1	0	0,000	0,00	0,214	0,214	100,000	0,214	0,214
AH_T2	0	0,000	0,00	0,443	0,443	100,000	0,443	0,443
AH_T3	0	0,000	0,00	0,153	0,153	100,000	0,153	0,153
DA_Res	0	0,000	0,00	0,055	0,055	100,000	0,055	0,055
DA_T1	0	0,000	0,00	0,037	0,037	100,000	0,037	0,037
DA_T2	0	0,000	0,00	0,061	0,061	100,000	0,061	0,061
DA_T3	0	0,000	0,00	0,028	0,028	100,000	0,028	0,028
Exutorio	1140	100,000	293.882,50	100,000	1,906	1,910	1,906	0,000
IND_Res	0	0,000	0,00	0,108	0,108	100,000	0,108	0,108
IND_T1	2	10,260	3,08	0,010	0,009	89,740	0,000	0,000
IND_T2	1140	100,000	356,52	0,119	0,000	0,000	0,000	0,000
IND_T3	1140	100,000	272,63	0,091	0,000	0,000	0,000	0,000

Tabela 9: Resultado de atendimento das demandas para o Cenário 2 – temperatura 2006-2037

Demandas	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 média fornecida (% da demanda média necessária)	Vazão média fornecida quando ocorrem falhas (m³/s)	Vazão mínima fornecida (m³/s)
AGR_Res	0	0,000	0,00	3,570	3,570	100,000	3,570	3,570
AGR_T1	1140	100,000	167,86	4,416	4,360	98,730	4,360	3,893
AGR_T2	1140	100,000	18.357,75	6,149	0,021	0,350	0,021	0,000
AGR_T3	1140	100,000	14.332,40	4,784	0,000	0,000	0,000	0,000
AH_Res	0	0,000	0,00	0,295	0,295	100,000	0,295	0,295
AH_T1	0	0,000	0,00	0,214	0,214	100,000	0,214	0,214
AH_T2	0	0,000	0,00	0,443	0,443	100,000	0,443	0,443
AH_T3	0	0,000	0,00	0,153	0,153	100,000	0,153	0,153
DA_Res	0	0,000	0,00	0,055	0,055	100,000	0,055	0,055
DA_T1	0	0,000	0,00	0,037	0,037	100,000	0,037	0,037
DA_T2	0	0,000	0,00	0,061	0,061	100,000	0,061	0,061
DA_T3	0	0,000	0,00	0,028	0,028	100,000	0,028	0,028
Exutorio	1140	100,000	293.889,97	100,000	1,903	1,900	1,903	0,000
IND_Res	0	0,000	0,00	0,108	0,108	100,000	0,108	0,108
IND_T1	9	43,600	13,06	0,010	0,006	56,400	0,000	0,000
IND_T2	1140	100,000	356,52	0,119	0,000	0,000	0,000	0,000
IND_T3	1140	100,000	272,63	0,091	0,000	0,000	0,000	0,000

Tabela 10: Resultado de atendimento das demandas para o Cenário 2 – temperatura 2038-2069

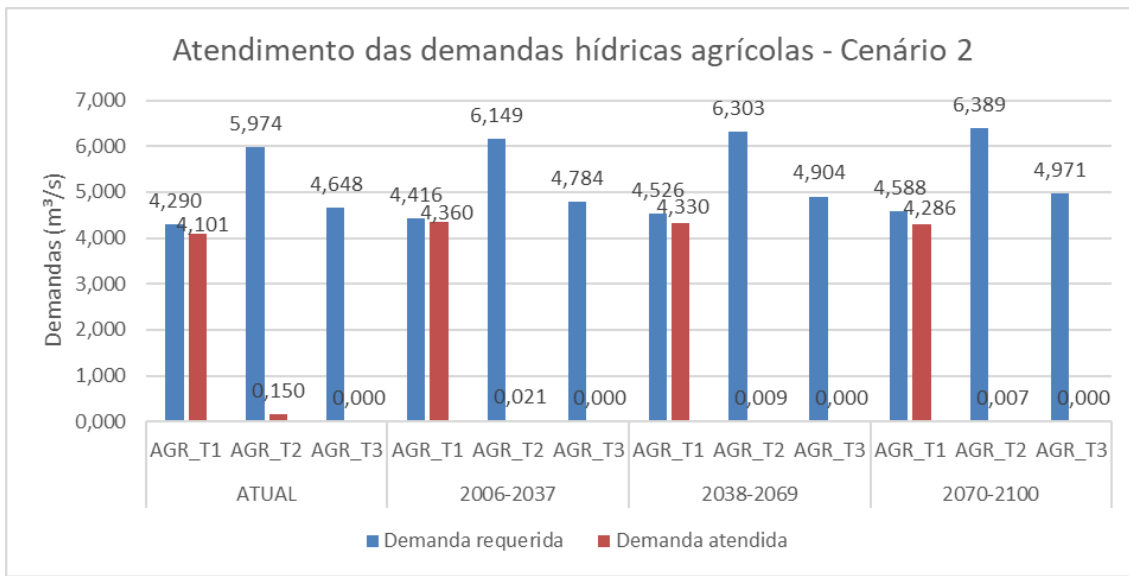
Demandas	Tempo máximo abaixo da demanda necessária (mês(es))	Frequência abaixo da demanda necessária (%)	Volume acumulado dos déficits (Mm³)	Demanda média necessária (m³/s)	Vazão média fornecida (m³/s)	Vazão média fornecida (% da demanda média necessária)	Vazão média fornecida quando ocorrem falhas (m³/s)	Vazão mínima fornecida (m³/s)
AGR_Res	0	0,000	0,00	3,659	3,659	100,000	3,659	3,659
AGR_T1	1140	100,000	588,01	4,526	4,330	95,660	4,330	3,966
AGR_T2	1140	100,000	18.856,11	6,303	0,009	0,140	0,009	0,000
AGR_T3	1140	100,000	14.691,97	4,904	0,000	0,000	0,000	0,000
AH_Res	0	0,000	0,00	0,295	0,295	100,000	0,295	0,295
AH_T1	0	0,000	0,00	0,214	0,214	100,000	0,214	0,214
AH_T2	0	0,000	0,00	0,443	0,443	100,000	0,443	0,443
AH_T3	0	0,000	0,00	0,153	0,153	100,000	0,153	0,153
DA_Res	0	0,000	0,00	0,055	0,055	100,000	0,055	0,055
DA_T1	0	0,000	0,00	0,037	0,037	100,000	0,037	0,037
DA_T2	0	0,000	0,00	0,061	0,061	100,000	0,061	0,061
DA_T3	0	0,000	0,00	0,028	0,028	100,000	0,028	0,028
Exutorio	1140	100,000	293.936,16	100,000	1,888	1,890	1,888	0,000
IND_Res	0	0,000	0,00	0,108	0,108	100,000	0,108	0,108
IND_T1	9	42,980	12,85	0,010	0,006	57,100	0,000	0,000
IND_T2	1140	100,000	356,52	0,119	0,000	0,000	0,000	0,000
IND_T3	1140	100,000	272,63	0,091	0,000	0,000	0,000	0,000

Tabela 11: Resultado de atendimento das demandas para o Cenário 2 – temperatura 2070-2100

Demandas	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 média fornecida (% da demanda média necessária)	Vazão média fornecida quando ocorrem falhas (m³/s)	Vazão mínima fornecida (m³/s)
AGR_Res	0	0,000	0,00	3,709	3,709	100,000	3,709	3,709
AGR_T1	1140	100,000	905,58	4,588	4,286	93,410	4,286	3,951
AGR_T2	1140	100,000	19.121,14	6,389	0,007	0,100	0,007	0,000
AGR_T3	1140	100,000	14.892,61	4,971	0,000	0,000	0,000	0,000
AH_Res	0	0,000	0,00	0,295	0,295	100,000	0,295	0,295
AH_T1	0	0,000	0,00	0,214	0,214	100,000	0,214	0,214
AH_T2	0	0,000	0,00	0,443	0,443	100,000	0,443	0,443
AH_T3	0	0,000	0,00	0,153	0,153	100,000	0,153	0,153
DA_Res	0	0,000	0,00	0,055	0,055	100,000	0,055	0,055
DA_T1	0	0,000	0,00	0,037	0,037	100,000	0,037	0,037
DA_T2	0	0,000	0,00	0,061	0,061	100,000	0,061	0,061
DA_T3	0	0,000	0,00	0,028	0,028	100,000	0,028	0,028
Exutorio	1140	100,000	293.960,91	100,000	1,879	1,880	1,879	0,000
IND_Res	0	0,000	0,00	0,108	0,108	100,000	0,108	0,108
IND_T1	9	43,600	13,04	0,010	0,006	56,490	0,000	0,000
IND_T2	1140	100,000	356,52	0,119	0,000	0,000	0,000	0,000
IND_T3	1140	100,000	272,63	0,091	0,000	0,000	0,000	0,000

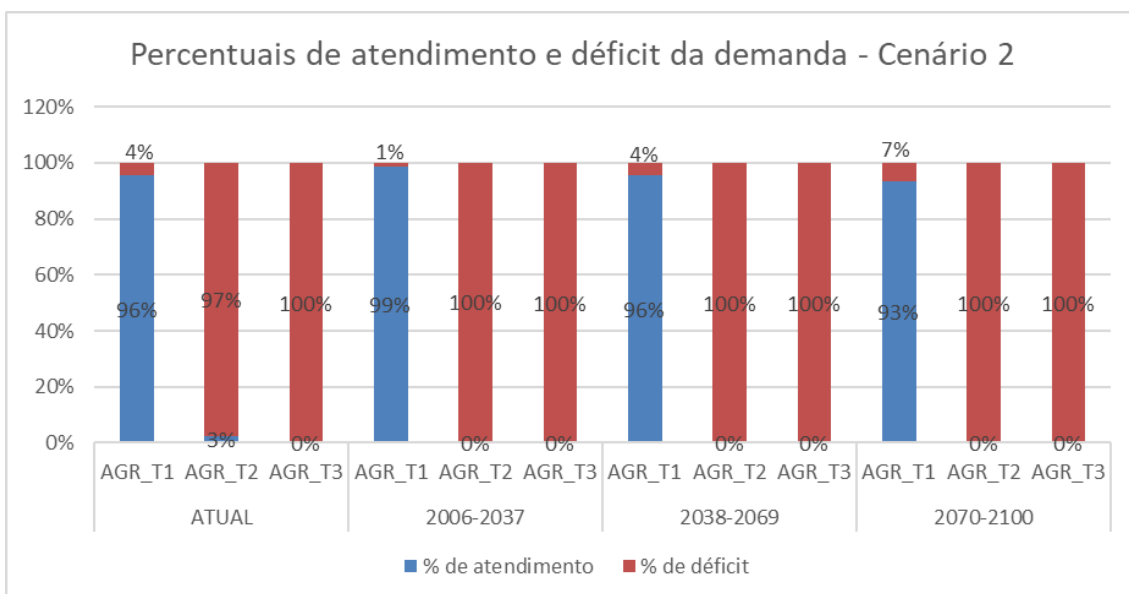
A comparação entre os resultados obtidos com software Acquanet para o para o Cenário 2 (oferta hídrica de 5 m³/s), apresentaram o atendimento de 100% das demandas com a maior prioridade (abastecimento humano (AH) e dessedentação animal (DA)) em todos os trechos simulados. Verificam-se, também, déficits de atendimento relativos às simulações com a prioridade 2 e 3, para o uso agrícola (AGR) e uso industrial (IND), ao observar-se uma disparidade entre a demanda requerida (demanda média necessária) e a demanda atendida (vazão média fornecida), conforme Figura 5. Apesar de compreensível, uma vez que, nesse cenário a oferta hídrica é inferior à primeira simulação e as projeções climáticas futuras seriam bem mais impactantes para produtividade agrícola.

Figura 5: Resultado de atendimento das demandas agrícolas para o Cenário 2



Com base na análise dos dados, pode-se inferir que a agricultura possui a maior demanda hídrica. Sendo a área agrícola correspondente ao trecho 2 (municípios descritos no quadro 2) a que apresenta maior demanda para consumo de água dentre as culturas consideradas (cana-de-açúcar, sorgo, milho, abacaxi e mandioca). Com a oferta hídrica reduzida para 5 m³/s, observa-se o não atendimento da demanda AGR_T3 e AGR_T2. A demanda AGR_T1 apresentou atendimento superior a 93%, conforme Figura 6.

Figura 6: Percentuais de atendimento e déficits das demandas agrícolas para o Cenário 2



Para ONU (2019), o setor agrícola (incluindo irrigação, pecuária e aquicultura) ainda é a maior consumidora de recursos hídricos, respondendo por 69% da retirada anual de água em todo o mundo. Corroborando com o Relatório Mundial das Nações Unidas (ONU) sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos (2021), que descreve o quão a irrigação é responsável pelo desperdício da água, seja pelo processo natural da evaporação ou pela ineficiência dos métodos adotados. O que demonstra, que os usos com alta demanda de água terão déficit de atendimento, como evidenciado na irrigação dos cultivos (AGR), conforme as Figuras 5 e 6.

Segundo Pontes (2018), ao avaliar os impactos causados pelas mudanças climáticas em regiões como Norte e Nordeste do Brasil, trabalhadores que exercem a agricultura terão que se adaptar à crescente variabilidade climática que ocorre no mundo.

Nesse olhar, a realização de projeções e cenários onde há mudanças climáticas é de fundamental importância para o entendimento do comportamento das variações climáticas com o passar dos anos. A partir dessas projeções novas medidas mitigadoras poderão ser criadas por parte dos governantes, além de também servir para alertar a população quanto às consequências dessas mudanças (MEIRA, 2017).

3.3. Resultados da Evaporação

Na Tabela 13 encontra-se uma correlação entre os Cenário simulados e os valores dos volumes evaporados no reservatório e no Canal Acauã-Araçagi.

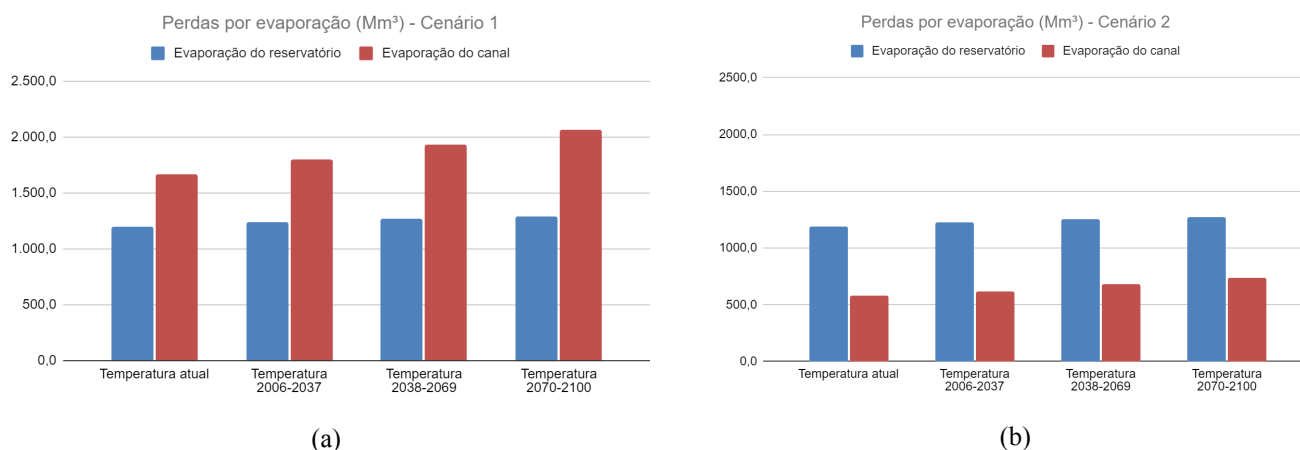
Tabela 12: Resultados das perdas por evaporação do reservatório e do canal

Cenário/Estados	Cenário 1 (10 m ³ /s)				Cenário 2 (5 m ³ /s)			
	T _{atual}	T ₂₀₀₆₋₂₀₃₇	T ₂₀₃₈₋₂₀₆₉	T ₂₀₇₀₋₂₁₀₀	T _{atual}	T ₂₀₀₆₋₂₀₃₇	T ₂₀₃₈₋₂₀₆₉	T ₂₀₇₀₋₂₁₀₀
Evaporação do reservatório (Mm ³)	1.198,4	1.234,4	1.267,8	1.287,6	1.191,5	1.225,6	1.254,0	1.269,4
Evaporação do canal (m ³ /s)	1.664,5	1.800,7	1.931,8	2.066,2	583,0	621,3	677,6	734,3

Os maiores volumes evaporados ocorrem no Cenário 1 (oferta hídrica de 10 m³/s), devido à maior área do espelho d'água e uma afluência de 10 m³/s que resulta em uma maior perda por evaporação. Nota-se que o volume evaporado do Canal Acauã-Araçagi é superior ao volume evaporado pelo reservatório neste cenário.

No Cenário 2, a evaporação do reservatório não sofreu grandes diminuições. Além disso, observa-se que a evaporação do Canal no Cenário 2 foi inferior ao Cenário 1, devido a redução da afluência para 5 m³/s.

Figura 7: Perdas por evaporação: a) Cenário 1; b) Cenário 2;



4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo buscou analisar o atendimento das demandas de água do sistema hídrico do Canal das Vertentes Litorâneas (Canal Acauã-Araçagi) em dois cenários de oferta hídrica e consideração das mudanças climáticas na temperatura. As simulações foram realizadas tendo como hipótese uma situação de escassez hídrica na região de estudo e portanto o canal seria a única fonte hídrica para as demandas consideradas.

Foi observado o atendimento a todas as vazões requeridas para os usos de abastecimento humano e dessedentação animal em todos trechos em função da variável de interesse dos usos da água ser prioritária, conforme preconiza a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei Federal nº 9.433/1997).

O modelo de rede de fluxo também demonstrou que mesmo que as demandas estejam baixas, estão sujeitas a não serem atendidas caso não possuam a prioridade essencial de uso da água, como observado na falha de atendimento do uso industrial em todos os cenários simulados.

Além disso, os resultados das simulações demonstraram que a ocorrência frequente de falhas no atendimento das demandas agrícolas do Canal, principalmente porque elas já demandam valor superior à oferta hídrica, nos dois cenários. Com o aumento da temperatura em função das mudanças climáticas, e consequente aumento de evaporação e evapotranspiração das culturas, observou-se um aumento gradativo no déficit de atendimento das demandas agrícolas nos dois cenários.

Importante salientar que a oferta hídrica de 10 m³/s, vazão máxima de projeto do Canal, será difícil de aduzir pois dependerá da disponibilidade hídrica do Rio São Francisco. Logo, a região precisa dispor de um sistema integrado a outros mananciais, superficiais e subterrâneos, para garantir a sustentabilidade hídrica do sistema.

Brito (2019) afirma que a vazão máxima estimada para o canal de integração Acauã-Araçagi não é sustentável, pois ao realizar simulações, ocorreram falhas no atendimento da demanda e sobrecarga de todo o sistema, principalmente do reservatório Acauã.

A partir da interpretação dos dados analisados, percebe-se que o modelo de rede de fluxo Acquanet, permite a avaliação de múltiplos componentes dos sistemas de recurso hídrico de forma simples e simultânea. Seu papel como facilitador é evidente ao vincular dados entre demandas, tipos de usos de água, escala de tempo, prioridades, entre outros. Os quais contribuem na identificação de falhas no atendimento das demandas e determinação de ações de gestão.

Portanto, considerando as informações citadas recomenda-se, para estudos futuros, a consideração de outros cenários de gestão da demanda, como cenários que considerem outros reservatórios na rede de fluxo para uma simulação mais próxima da realidade da região, principalmente o Açude Araçagi. Buscando assim, um melhor uso dos recursos hídricos, que constituem requisitos essenciais para a gestão, planejamento e manejo sustentável.

REFERÊNCIAS

ANA - Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2019: informe anual**. Brasília, 2019.

ARAGÃO, T. G. **Transposição do rio São Francisco para a bacia do rio Paraíba: uma avaliação da sinergia e sustentabilidade hídrica utilizando o modelo de rede de fluxo Acquanet**. 2008. 140p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008.

ATLASBR. Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil. **Consulta por tabelas, utilizando indicadores de população, educação e renda por unidade de desenvolvimento humano, dados do censo demográfico de 2000 e 2010**. Disponível em: <http://www.atlasbrasil.org.br/consulta/planilha>. Acesso em: 20 abr. 2022.

BRASIL. **Lei Federal nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos**. Senado, Brasília.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Secretaria de Infraestrutura Hídrica. **Eixo de Integração da Planície Costeira Interior. Módulo C - projeto básico. Tomo I – Projeto Básico do Sistema Adutor Açude Acauã – Rio Camaratuba**. Volume 9 - Resumo Executivo. Brasília, 2007.

BRITO, V. da 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**. 2019. 108p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2019.

CARDOSO, M. L. D. M. **Avaliação da implantação de estruturas hídricas no atendimento das demandas na região do Alto Oeste Potiguar**. 2021. 63p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2021.

CHEGA ÁGUA NA MAIOR OBRA DE INFRAESTRUTURA HÍDRICA DA PARAÍBA. A União, 2021. Disponível em: https://zeoserver.pb.gov.br/jornalaunia/aunia2/noticias/caderno_paraiba/chega-agua-na-maior-obra-de-infraestrutura-hidrica-da-paraiba. Acesso em: 20 jun. 2022.

FIEP - Federação das Indústrias do Estado da Paraíba. **Cadastro Industrial – PB**. Disponível em: <https://www.fiepb.com.br/fiep/noticia/cadastro-industrial>. Acesso em: 20 abr. 2022.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate change 2007: the physical science basis**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Core Writing Team, PACHAURI, R. K.; REISINGER, A. (eds.) Geneva: IPCC, 2007.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2013: the Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: STOCKER, T. F.; QIN, D.; PLATTNER, G. K.; TIGNOR, M.; ALLEN, S. K.; BOSCHUNG, J.; NAUELS, A.; XIA, Y.; BEX V.; MIDGLEY, P. M. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge. United Kingdom and New York. NY, USA. IPCC, 2013.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2021: the Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press: IPCC, 2021.

LIMA, L. G. D. **Avaliação da sustentabilidade hídrica dos reservatórios estratégicos da sub-bacia do alto Piranhas-PB**. 2019. 99p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil). Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2019.

LOPES, M. S.; TERCINI, J. R. B.; DE SANTI, A. D.; PEDROZO, D. B.; GARCIA, J. I. B.; GONZALEZ, V. A. R.; LÉO, E. C. **Sistema de suporte a decisões aplicado ao gerenciamento de recursos hídricos: estudo de caso Bacias PCJ**. Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, v. 10, n. 1, p. 19876, 2021.

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**. 2018. 97p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2018.

MARENGO, J. A.; CHOU, S. C. R. Cenários futuros de clima para estudos de Impactos Vulnerabilidade Adaptação (IVA). In: NOBRE, Carlos A.; MARENGO, José A. (Orgs). **Mudanças climáticas em rede: um olhar interdisciplinar**. São José dos Campos: INCT, cap. 13, 2017.

MEIRA, Y. C. L. **Impacto das mudanças climáticas na demanda de água para irrigação da cana-de-açúcar na bacia hidrográfica do rio Gramame-PB**. Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Trabalho de Conclusão de Curso, 2017.

MENDES, F. D. de S. **Avaliação da aplicação do modelo SWAT para simulações hidrológicas na bacia hidrográfica do rio Bicudo, em Minas Gerais**. 2021. 99p. Dissertação (Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Itajubá, Itabira. 2021.

NAITZEL, L. T. **Validação de modelos climáticos globais e análise de projeções futuras para o Rio Grande do Sul**. 2021.

ONU – Organização das Nações Unidas. Agências da ONU lançam Relatório Mundial sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos. **O valor da água - ONU**. 2021. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/123077-agencias-da-onu-lancam-relatorio-mundial-sobre-o-desenvolvimento-dos-recursos-hidricos>. Acesso em: 20 abr. 2022.

PERH-PB - **Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba**. Resumo Executivo. João Pessoa: Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e Minerais – SEMARH. 2006.

PONTES, N. C. **A Transposição do Rio São Francisco como potencial medida de adaptação às mudanças climáticas**. 2018, 131p. Tese (Doutorado em Ciência Ambiental) - Universidade de São Paulo. São Paulo, 2018.

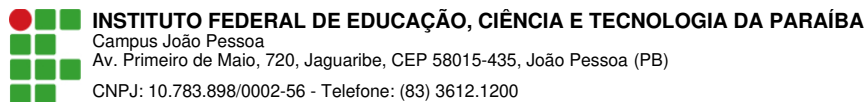
RODRIGUES, M. D. O. **Segurança hídrica na Bacia do Lago Chade: a água como ferramenta de poder, coerção e conflito**. 2021. 168p. Dissertação (Mestrado em Estudos Estratégicos Internacionais) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.

SCHARDONG, A.; MÉLLO JÚNIOR, A. V.; ROBERTO, A. N.; PORTO, R. L. L. Desempenho do modelo AquaNetXL na alocação de água em sistemas de recursos hídricos complexos. **Engenharia Agrícola**, v. 29, p. 705-715, 2009.

SOBRAL, M. C. *et al.* Impacto das mudanças climáticas nos recursos hídricos no submédio da bacia hidrográfica do rio São Francisco – Brasil. REDE - **Revista Eletrônica do PRODEMA**, v. 12, n. 03, p. 95-106, 2018.

TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos**. 2. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 678 p. 2005.

USP - Universidade de São Paulo. Acquanet – **Modelo para Alocação de Água em Sistemas Complexos de Recursos Hídricos: Manual do usuário**. 2002. LABSID – Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões. São Paulo-SP.



Documento Digitalizado Ostensivo (Público)

TCC final em PDF

Assunto: TCC final em PDF
Assinado por: Emanuelle Macedo
Tipo do Documento: Anexo
Situação: Finalizado
Nível de Acesso: Ostensivo (Público)
Tipo do Conferência: Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- **Emanuelle Macêdo Viana, ALUNO (20182620026) DE TECNOLOGIA EM GESTÃO AMBIENTAL - JOÃO PESSOA**, em 24/08/2022 11:31:25.

Este documento foi armazenado no SUAP em 24/08/2022. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 605052
Código de Autenticação: 76089b5335

