



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA,
INOVAÇÃO E TECNOLOGIA PARA A AMAZÔNIA –
CITA



DESAFIOS NO ABASTECIMENTO DE ÁGUA POTÁVEL EM
PEQUENOS MUNICÍPIOS NA AMAZÔNIA SUL OCIDENTAL:
Estudo de caso do município de Bujari - Acre

RAFAEL PEREIRA LOUZADA

RIO BRANCO, AC
Setembro / 2024

RAFAEL PEREIRA LOUZADA

**DESAFIOS NO ABASTECIMENTO DE ÁGUA POTÁVEL EM
PEQUENOS MUNICÍPIOS NA AMAZÔNIA SUL OCIDENTAL:
Estudo de caso do município de Bujari - Acre**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência, Inovação e Tecnologia para a Amazônia, da Universidade Federal do Acre, como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências e Inovação Tecnológica**.

Orientador: PROF. DR. RODRIGO OTÁVIO PERÉA SERRANO

Coorientador: PROF. DR. JOSÉ GENIVALDO DO VALE MOREIRA

RIO BRANCO, AC
Setembro / 2024

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da UFAC

L895d Louzada, Rafael Pereira, 1993 -

Desafios no abastecimento de água potável em pequenos municípios na Amazônia Sul Ocidental: Estudo de caso do município de Bujari - Acre / Rafael Pereira Louzada; orientador: Prof. Dr. Rodrigo Otávio Peréa Serrano e coorientador: Prof. Dr. José Genivaldo do Vale Moreira. – 2024.
107 f.: il.; 30 cm.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Acre, Programa de Pós-graduação em Ciência, Inovação e Tecnologia para a Amazônia, Rio Branco, 2024.

Inclui referências bibliográficas.

1. Consumo de água. 2. Acesso e disponibilidade de água. 3. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). I. Serrano, Rodrigo Otávio Peréa (orientador). II. Moreira, José Genivaldo do Vale (coorientador). III. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA, INOVAÇÃO E
TECNOLOGIA PARA A AMAZÔNIA – CITA

DESAFIOS NO ABASTECIMENTO DE ÁGUA POTÁVEL EM
PEQUENOS MUNICÍPIOS NA AMAZÔNIA SUL OCIDENTAL:
Estudo de caso do município de Bujari - Acre

RAFAEL PEREIRA LOUZADA

DISSERTAÇÃO APROVADA EM: 27 de setembro de 2024.



PROF. Dr. RODRIGO OTÁVIO PERÉA SERRANO, orientador
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE

PROF. Dr. JOSÉ GENIVALDO DO VALE MOREIRA, coorientador
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE

PROF. Dr. MARCONI GOMES DE OLIVEIRA, avaliador
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE

PROF. Dr. CAMILO LELIS DE GOUVEIA, avaliador
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE

Dedico este trabalho aos munícipes de Bujari e de todo estado do Acre como forma de agradecimento ao acolhimento que tive durante os anos em que foi minha morada. Sinto-me um acreano de coração.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela força que me concede diariamente, renovando minhas energias para enfrentar o mundo com coragem e esperança. Espero sempre honrar Seu nome em cada passo que dou, consciente de Sua presença em minha vida.

Agradeço aos meus pais e irmãs pelo apoio emocional incondicional, mesmo que a distância física nos separe. Seu amor e compreensão são alicerces fundamentais na minha caminhada. Agradecimento estendido à pequena Maria Cecília, minha sobrinha, que iluminou nossas vidas e nos traz alegria diariamente.

Agradeço ao meu primo Cezar Silvino Gomes e sua família pela generosa oportunidade de trilhar o caminho dos estudos. Seu suporte e exemplo são impagáveis e inspiram-me a seguir em frente com determinação e gratidão.

Aos Professores do PPG-CITA, meu sincero agradecimento por terem contribuído significativamente para minha formação, compartilhando seus conhecimentos e me orientando com sabedoria nos momentos de dúvida. Estendo este agradecimento aos demais professores que já tocaram minha vida, seja na graduação, ensino médio ou fundamental. O comprometimento com a educação é verdadeiramente inspirador.

Agradeço especialmente ao meu Orientador, Prof. Dr. Rodrigo Otávio Peréa Serrano, pela paciência, parceria e dedicação na orientação deste trabalho. Sua orientação foi essencial para o meu desenvolvimento acadêmico e pessoal.

Aos meus familiares e amigos, minha profunda gratidão por respeitarem e compreenderem minha ausência. Sua constante motivação e apoio são a força que me impulsiona a continuar buscando meus objetivos e sonhos.

Em cada uma dessas contribuições, encontro motivos para seguir em frente, fortalecido pela fé, pelo amor familiar e pela amizade sincera. Que este agradecimento seja também uma fonte de inspiração para outros que, como eu, trilham o caminho do conhecimento e da superação.

Às vezes a felicidade demora a chegar
Aí é que a gente não pode deixar de sonhar
Guerreiro não foge da luta e não pode correr
Ninguém vai poder atrasar quem nasceu pra vencer

É dia de Sol, mas o tempo pode fechar
A chuva só vem quando tem que molhar
Na vida é preciso aprender, se colhe o bem que plantar
É Deus quem aponta a estrela que tem que brilhar

Erga essa cabeça, mete o pé e vai na fé
Manda essa tristeza embora
Basta acreditar que um novo dia vai raiar
Sua hora vai chegar.

(Tá Escrito – Grupo Revelação)

RESUMO

A água é um recurso global de interesse material. No entanto, conforme destacado pelas Nações Unidas, mais de 2 bilhões de pessoas em todo o mundo enfrentam a dura realidade de não ter acesso à água potável, e mais de 4 bilhões de pessoas habitam áreas afetadas por grave escassez física de água por pelo menos um mês ao longo do ano. A população da Amazônia Sul Ocidental enfrenta desafios semelhantes no acesso à água tratada, apesar de estarem situadas dentro da bacia do rio Amazonas. Tal situação mostra que a mera abundância de recursos hídricos não garante, necessariamente, um acesso adequado e suficiente para suprir as necessidades da população. Por isso, este estudo destaca a importância da água para a manutenção da cidadania humana e associa seu acesso ao ODS 6 da Agenda 2030, que visa universalizar o acesso a este recurso vital. O foco da análise recai sobre a escassez cíclica de água no município de Bujari, no estado do Acre. Para isso, foi realizada uma comparação entre a demanda e a disponibilidade hídrica local, utilizando dois modelos: o modelo chuva-vazão e a regionalização de vazão. Os resultados deste estudo indicam que a atual disponibilidade de água no município é insuficiente para atender à demanda, cenário que tende a se agravar no futuro. Essa realidade evidencia a necessidade de ações imediatas e efetivas para otimizar o sistema de abastecimento hídrico local, visando assegurar o uso sustentável e equitativo desse recurso essencial.

Palavras-chave: Consumo de água; Acesso e Disponibilidade de água. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Modelo Chuva-vazão. Regionalização de Vazão. Amazônia Sul-Ocidental.

ABSTRACT

Water is a global resource of material interest. However, as highlighted by the United Nations, more than 2 billion people worldwide face the harsh reality of lacking access to safe drinking water, and over 4 billion people live in areas affected by severe physical water scarcity for at least one month each year. The population of Southwestern Amazon faces similar challenges in accessing treated water, despite being located within the Amazon River basin. This situation shows that the mere abundance of water resources does not necessarily guarantee adequate and sufficient access to meet the population's needs. Therefore, this study highlights the importance of water for maintaining human citizenship rights and links its access to SDG 6 of the 2030 Agenda, which aims to universalize access to this vital resource. The analysis focuses on the cyclical water shortage in the municipality of Bujari, in the state of Acre. To this end, a comparison was made between local water demand and availability using two models: the rainfall-runoff model and the flow regionalization model. The results of this study indicate that the current water availability in the municipality is insufficient to meet demand, a situation that is expected to worsen in the future. This reality underscores the need for immediate and effective actions to optimize the local water supply system to ensure the sustainable and equitable use of this essential resource.

Keywords: Water consumption; Access and Availability of water. Sustainable Development Goals (SDGs). Rain-flow model. Flow Regionalization. South-Western Amazon.

LISTA DE FIGURAS E GRÁFICOS

		Pág.
Figura 01.	Etapas do Estudo	15
Figura 02.	Mapa da Amazonia Sul Ocidental	19
Figura 03.	Bacia do Rio Acre com destaque sobre a Bacia do Igarapé Redenção	38/73
Figura 04.	Precipitações médias mensais-PMM, desvio padrão-DP, menor média mensal da série de dados-mMMSD e maior média mensal da série de dados-MMMSD (mm), Rio Branco, Acre, 1990-2019	50
Figura 05.	Valores recomendados para o coeficiente $C2$	51
Figura 06.	Coeficiente de distribuição espacial da chuva k	53
Figura 07.	Mapa da Bacia do Igarapé Redenção – Rio Branco-Acre	58/91
Figura 08.	Mapa da Área de Contribuição da Represa da Bacia do Igarapé Redenção em Rio Branco-Acre	60/93
Gráfico 01.	Intensidade das Precipitações Médias Horárias	51
Gráfico 02.	Projeção do Crescimento Populacional do Município de Bujari - Acre	55/88
Gráfico 03.	Projeção do Crescimento do Movimento para o Aeroporto Internacional Placido de Castro em Rio Branco - Acre	56/89
Gráfico 04.	Demanda atual e futura por água para a ETA de Bujari	57/90
Gráfico 05.	Comportamento do volume de água no barramento do Igarapé Redenção	63
Gráfico 06.	Disponibilidade hídrica regionalizada e outorgável para o Igarapé Redenção em Rio Branco-Acre	97
Gráfico 07.	Análise demanda versus disponibilidade anual atual e futura para a ETA Bujari	98
Gráfico 08.	Análise demanda versus disponibilidade do semestre seco atual e futura para a ETA Bujari	98

LISTA DE QUADROS E TABELAS

		Pág.
Quadro 1.	Iniciativas Públicas e Privadas que visam o Acesso Água Potável	26
Quadro 2.	Resumo das Características Morfométrica da Bacia do Igarapé Redenção, Rio Branco – Acre	59
Quadro 3.	Determinação da Vazão de Outorga para a Região de Acumulação da Barragem da Bacia do Igarapé Redenção em Rio Branco – Acre	62/92
Quadro 4.	Indicador de Retirada e Análise Criticidade da ONU	87
Quadro 5.	Análise da Criticidade do Abastecimento Anual pelo padrão da ONU	100
Quadro 6.	Análise da Criticidade do Abastecimento para o semestre seco pelo padrão da ONU	100
Tabela 1.	Dados Censitários do Município de Bujari para a Projeção Populacional	42/77
Tabela 2.	Dados do Movimento Medido para o Aeroporto Placido de Castro	44/79
Tabela 3.	Valores Determinados para o Coeficiente C_2 para cada Mês	53
Tabela 4.	Projeção do Crescimento Populacional do Município de Bujari - Acre	55/88
Tabela 5.	Projeção do Crescimento do Movimento para o Aeroporto Internacional Placido de Castro em Rio Branco - Acre	56/89
Tabela 6.	Demanda Aritmética por Água para a ETA do Município de Bujari – Acre	57/90
Tabela 7.	Demanda Geométrica por Água para a ETA do Município de Bujari – Acre	57/90
Tabela 8.	Fluxo do Consumo de Água no Barramento do Igarapé Redenção	63
Tabela 9.	Estações de Monitoramento Fluviométrico na Bacia do Rio Acre	85
Tabela 10.	Vazão mínima estatística ($Q_{7,10}$) para a Bacia do Rio Acre	96
Tabela 11.	Vazão mínima de referência (Q_{95}) para a Bacia do Rio Acre	96
Tabela 12.	Vazão mínima de referência ($Q_{95,S}$) para a Bacia do Rio Acre	97
Tabela 13.	Vazão média de longa duração (Q_{mld}) para a Bacia do Rio Acre	97

LISTA DE ABREVIATURAS

AGEAC	Agência Reguladora do Acre
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento
CEMACT	Conselho Estadual de Meio Ambiente, Ciência e Tecnologia
CF/88	Constituição Federal de 1988
DISAM	Divisão Técnica de Saneamento
ETA	Estação de Tratamento de Água
GPRH	Grupo de Pesquisas em Recursos Hídricos
GTSC A2030	Grupo de Trabalho da Sociedade Civil para a Agenda 2030
h	Hora
Hab	Habitante
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IMAC	Instituto de Meio Ambiente do Acre
IN049	Índice de Perdas na Distribuição
INFRAERO	Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária
km	Quilômetros
km ²	Quilômetros quadrados
L	Litro
MDE	Modelo Digital de Elevação
mm	Milímetro
m ³	Metro Cúbico
NASA	Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
PAC	Programa de Aceleração do Crescimento
PAX	Passageiro
PLANSAB	Plano Nacional de Saneamento Básico
PLERH	Plano Estadual de Recursos Hídricos
PMSB	Planos Municipais de Saneamento Básico
PNRH	Plano Nacional de Recursos Hídricos
QGIS	Sistema de Informação Geográfica com código-fonte livre e aberto
QPC	Quota “Per Capita”
s	Segundo
SANEACRE	Serviço Estadual de Água e Esgoto do Acre
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SIRGAS	Sistema de Referência Geodésico
SisCAH	Sistema Computacional para Análises Hidrológicas
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
TRATA	Instituto Trata Brasil
UGRH	Unidades de Gestão de Recursos Hídricos
UNICEF	Fundo das Nações Unidas para a Infância
ZEE-AC	Zoneamento Ecológico e Econômico do Estado do Acre

SUMÁRIO

	Pág.
INTRODUÇÃO GERAL	13
CAPÍTULO I - DESAFIOS NO ACESSO À ÁGUA POTÁVEL EM PEQUENOS MUNICÍPIOS E POVOADOS DA AMAZÔNIA SUL OCIDENTAL: uma análise à luz dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030	15
1.1 INTRODUÇÃO	16
1.2 CONTEXTUALIZAÇÃO DA PROBLEMÁTICA	17
1.3 ACESSO À ÁGUA TRATADA E OS OBJETIVOS DA AGENDA 2030	20
1.4 INICIATIVAS E SOLUÇÕES	23
1.5 DESAFIOS E OBSTÁCULOS	25
1.6 PERSPECTIVAS FUTURAS E RECOMENDAÇÕES	26
1.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	28
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30
CAPÍTULO II - SITUAÇÃO DO ABASTECIMENTO DE ÁGUA DO MUNICÍPIO DE BUJARI - ACRE: uma análise do parâmetro demanda versus disponibilidade atual e futura pelo modelo Chuva-vazão	35
2.1 INTRODUÇÃO	36
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	39
2.2.1 PROCESSOS PARA O ESTABELECIMENTO DA DEMANDA	41
2.2.1.1 Demanda Populacional	41
2.2.1.2 Demanda Aeroportuária	42
2.2.1.3 Demanda Total	43
2.2.2 CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA	44
2.2.2.1 Bacia do Igarapé Redenção	44
2.2.2.2 Área de drenagem da Barragem	48
2.2.3 PROCESSOS PARA O ESTABELECIMENTO DA DISPONIBILIDADE	48
2.2.3.1 Cálculo da Disponibilidade pelo Modelo Chuva-vazão	48
2.2.3.2 Vazão Outorgável	53
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
2.3.1 QUANTIFICAÇÃO DA DEMANDA	54
2.3.2 CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO IGARAPÉ REDENÇÃO	57
2.3.2.1 Caracterização Morfométrica da Área de acumulação da Barragem da Bacia do Igarapé Redenção	60
2.3.3 QUANTIFICAÇÃO DA DISPONIBILIDADE	61
2.4 CONCLUSÃO	64
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
CAPÍTULO III - CONDIÇÕES DO ABASTECIMENTO DE ÁGUA DO MUNICÍPIO DE BUJARI - ACRE: uma análise do parâmetro demanda versus disponibilidade atual e futura pelo método da Regionalização de Vazão	71
3.1 INTRODUÇÃO	72

3.2	MATERIAL E MÉTODOS	75
3.2.1	PROCESSOS PARA O ESTABELECIMENTO DA DEMANDA	76
3.2.1.1	Demanda Populacional	76
3.2.1.2	Demanda Aeroportuária	77
3.2.1.3	Demanda Total	78
3.2.2	CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA	79
3.2.2.1	Bacia do Igarapé Redenção	79
3.2.2.2	Área de drenagem da Barragem	83
3.2.3	PROCESSOS PARA O ESTABELECIMENTO DA DISPONIBILIDADE	82
3.2.3.1	Parâmetros para a Regionalização de Vazão	83
3.2.3.2	Vazões de referência: mínima, de permanência e média de longa duração	84
3.2.3.3	Vazão Outorgável	85
3.2.3.4	Índices da ONU	86
3.2.3.5	Cálculo da Disponibilidade pela Regionalização de Vazão	86
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	87
3.3.1	QUANTIFICAÇÃO DA DEMANDA	87
3.3.2	CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO IGARAPÉ REDENÇÃO	90
3.3.3	QUANTIFICAÇÃO DA DISPONIBILIDADE	95
3.4	CONCLUSÃO	100
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101
	CONCLUSÕES GERAIS	106
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	107

INTRODUÇÃO GERAL

A água é um recurso natural essencial e de interesse global, fundamental para a manutenção da vida e a dinâmica dos ecossistemas. Como elemento vital, a água não apenas sustenta a biodiversidade, mas desempenha um papel central nos processos naturais, regulando ciclos biogeoquímicos e climáticos (Silva, 2017). Apesar de sua abundância relativa no planeta, a distribuição desigual e as pressões antrópicas colocam a gestão dos recursos hídricos no centro das discussões ambientais e políticas em todo o mundo.

A importância da água como bem de uso comum e essencial para a existência dos seres vivos torna imperativa sua proteção jurídica. Capellari e Capellari (2018) enfatizam a necessidade de regulamentação eficaz para garantir o acesso justo e a preservação desse recurso vital. Nesse sentido, instituições internacionais, como o Conselho Mundial da Água, desempenham um papel crucial ao posicionar a água no topo da agenda política global e ao desenvolver políticas que promovam o uso sustentável e a gestão eficiente dos recursos hídricos (Conselho Mundial da Água, 2018).

No Brasil, a gestão da água é estruturada por meio de políticas públicas como o Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), que visa estabelecer diretrizes para melhorar a oferta de água em quantidade e qualidade, integrando essas políticas ao desenvolvimento sustentável e à inclusão social (ANA, 2022). O Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), uma estrutura colegiada de governança, reúne segmentos públicos e privados para coordenar a gestão integrada

Ainda segundo o Ministério do Desenvolvimento Regional (2022) o Governo Federal administra o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS –, que se constitui no maior e mais importante sistema de informações do setor saneamento no Brasil, apoiando-se em um banco de dados que contém informações de caráter institucional, administrativo, operacional, gerencial, econômico-financeiro, contábil e de qualidade sobre a prestação de serviços de água, de esgotos e de manejo de resíduos sólidos urbanos. Dessa maneira, tem-se atualizado, ano a ano, os números resultantes dos programas de gestão da água em cada região, estado ou município do país.

Apesar de abrigar uma das maiores reservas de água doce do mundo, o Brasil enfrenta desafios significativos relacionados à escassez de água, com secas periódicas afetando tanto o Nordeste quanto outras regiões, incluindo a recente crise hídrica que impactou severamente a região Sudeste (Silva, 2017).

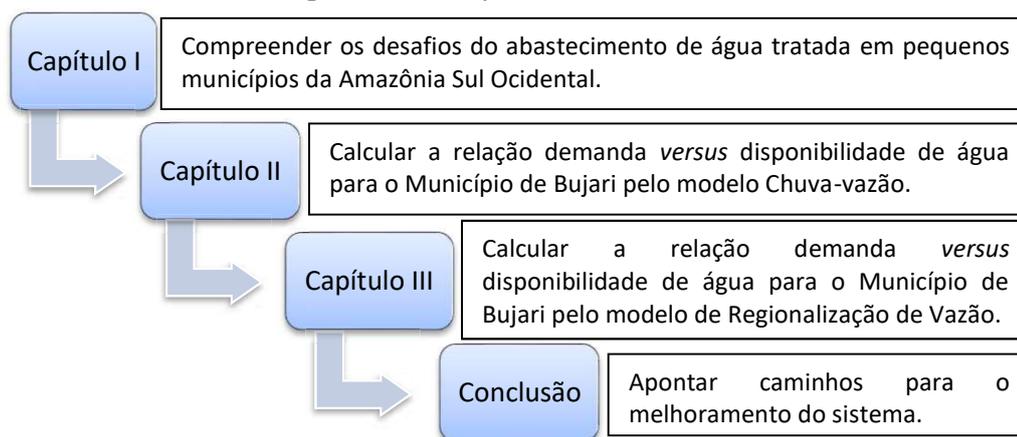
No contexto específico da Amazônia Sul Ocidental, o paradoxo da abundância de água doce combinada com a limitada infraestrutura de abastecimento de água potável sublinha a complexidade da gestão hídrica na região. Embora o Norte do Brasil apresente o maior índice de disponibilidade per capita de água doce do país, muitos domicílios ainda não têm acesso adequado a água potável, e a região enfrenta riscos de seca em determinados períodos do ano (Bordalo, 2017).

Desta forma, o primeiro capítulo presta-se a estudar a problemática do abastecimento de água tratada na Amazônia Sul Ocidental, com foco nos desafios encontrados pelos pequenos povoados e municípios do Estado do Acre, revisando o estado da arte na relação quantidade *versus* qualidade *versus* disponibilidade, analisando as informações de abastecimento dos municípios fornecidos pela agência fiscalizadora estadual e pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento.

Os capítulos segundo e terceiro estudam as condições de abastecimento do município de Bujari-Acre. Ao contrário dos demais municípios que tiveram seu início à beira de cursos de rios caudalosos, o município de Bujari dista consideravelmente do curso d'água mais próximo, o Igarapé Redenção, fazendo uso de sistema de represamento e reservação para seu abastecimento.

Para tal, propõe-se conhecer as características da bacia hidrográfica do Igarapé Redenção, seu sistema de abastecimento, a demanda por água tratada e estabelecer sua disponibilidade, visto que a falta d'água e o consequente racionamento tem-se feito presente nos últimos anos na região.

Figura 01 – Etapas do Estudo



Fonte: O autor, 2024

CAPÍTULO I

DESAFIOS NO ACESSO À ÁGUA POTÁVEL EM PEQUENOS MUNICÍPIOS E POVOADOS DA AMAZÔNIA SUL OCIDENTAL: uma análise à luz dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030

RESUMO

A Amazônia Sul Ocidental, apesar de sua riqueza em recursos hídricos, enfrenta significativos desafios no acesso à água potável de qualidade, o que representa um entrave ao desenvolvimento local. Este artigo examina esses desafios, enfatizando a importância de alinhá-los aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 da ONU, com foco especial no ODS 6 - "Água Limpa e Saneamento". Através de programas governamentais, iniciativas do setor privado e ações da sociedade civil, há esforços contínuos para melhorar o acesso à água tratada e contribuir para a concretização dos ODS. A análise demonstra que as dificuldades de acesso vão além da simples disponibilidade da água, sendo a qualidade do recurso um fator crucial. Assim, a implementação de estações de tratamento de água torna-se essencial. Além disso, ressalta-se a urgência em acelerar iniciativas relacionadas aos ODS, muitas das quais encontram-se estagnadas ou atrasadas.

Palavras-chave: Saneamento básico. Disponibilidade hídrica. Abastecimento de água em pequenos municípios. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

ABSTRACT

The Southwestern Amazon, despite its wealth of water resources, faces significant challenges in accessing quality drinking water, which represents an obstacle to local development. This article examines these challenges, emphasizing the importance of aligning them with the Sustainable Development Goals (SDGs) of the UN 2030 Agenda, with a special focus on SDG 6 - "Clean Water and Sanitation". Through government programs, private sector initiatives and civil society actions, there are ongoing efforts to improve access to treated water and contribute to the achievement of the SDGs. The analysis shows that access difficulties go beyond the simple availability of water, with the quality of the resource being a crucial factor. Thus, the implementation of water treatment plants becomes essential. In addition, it highlights the urgency of accelerating initiatives related to the SDGs, many of which are stagnant or delayed.

Keywords: Basic sanitation. Water availability. Water supply in small municipalities. Sustainable Development Goals (SDGs).

1.1 INTRODUÇÃO

A água, como a conhecemos, é a essência da vida, transcende fronteiras e interesses individuais, tornando-se um bem de interesse global que conecta todas as formas de vida e sustenta a dinâmica do planeta. Sua importância vai além do aspecto físico e material, sendo um símbolo da dependência humana do ambiente que nos cerca (Silva, 2017). Sua presença ou ausência molda destinos e influencia diretamente a qualidade de vida de comunidades ao redor do mundo.

Entretanto, a realidade global é alarmante. Conforme destacado pelas Nações Unidas, mais de 2 bilhões de pessoas em todo o mundo enfrentam a dura realidade da ausência de acesso à água potável e mais de 4 bilhões de pessoas habitam áreas afetadas por grave escassez física de água por pelo menos um mês ao longo do ano (Mekonnen; Hoekstra, 2016). Essa escassez periódica, impacta nas necessidades básicas de sobrevivência e no potencial de desenvolvimento humano, desencadeando um ciclo de desvantagem difícil de superar.

No contexto da Amazônia Sul Ocidental, a situação é paradoxal. Apesar de sua localização na bacia do rio Amazonas, que detém o maior volume de escoamento de água doce do planeta, muitas populações locais enfrentam desafios significativos para acessar água tratada em quantidade e qualidade adequadas. Este contraste evidencia que a presença abundante de água não se traduz automaticamente em acesso a recursos hídricos seguros e suficientes para atender às necessidades básicas das comunidades.

Giatti (2007) destaca que, embora a Amazônia seja rica em fontes de água naturalmente acessíveis, obter água de qualidade adequada para o consumo humano permanece um desafio constante. Esses obstáculos são, muitas vezes, limitadores implacáveis do progresso social e econômico na região (Cirilo, 2015).

O acesso à água é um direito humano fundamental, reconhecido pela Organização Mundial da Saúde e pela Assembleia Geral das Nações Unidas na resolução A/RES/64/292 de 2010, que consagra o acesso à água potável e ao saneamento como direitos humanos essenciais (ONU, 2010). Desde então, essa questão tem ocupado uma posição central na agenda global de desenvolvimento sustentável, particularmente no Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 6 - "Água Limpa e Saneamento", da Agenda 2030 das Nações Unidas.

O objetivo principal do ODS 6 é garantir a disponibilidade e gestão sustentável da água e do saneamento para todos até o ano de 2030, abordando seis metas e ações

específicas em nível global. Esse documento insta os países a tomarem medidas decisivas para garantir que todos tenham acesso a água limpa, reduzindo assim as desigualdades entre as populações.

Nesse contexto, este artigo explora os desafios de acesso a água tratada na Amazônia Sul Ocidental, enfatizando a importância de alinhar esses esforços com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 das Nações Unidas, particularmente o ODS 6 - "Água Limpa e Saneamento", para construir um futuro mais igualitário e sustentável para todos.

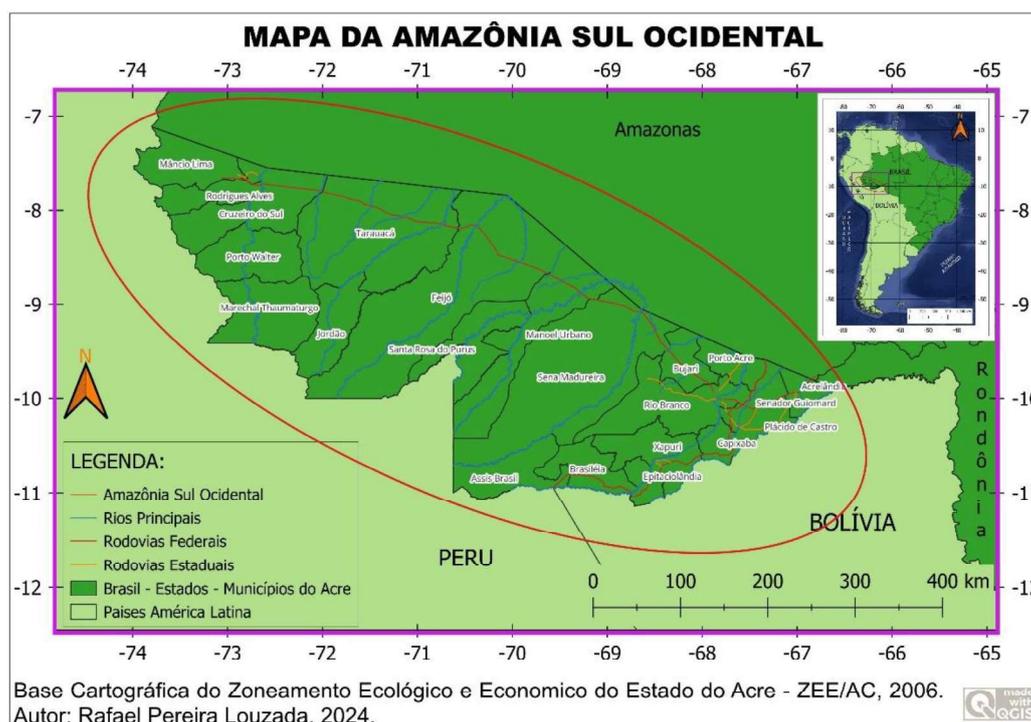
1.2 CONTEXTUALIZAÇÃO DA PROBLEMÁTICA

A República Federativa do Brasil é um dos maiores países do mundo, com cerca de 8,51 milhões de km² e uma população que ultrapassa 203 milhões de pessoas, conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022).

Dentro desse vasto território, a região Norte destaca-se como a maior em extensão, cobrindo 3,85 milhões de km² (45,24% do território nacional) e abrigando pouco mais de 17 milhões e 300 mil habitantes, correspondendo a 8,55% da população do país (IBGE, 2022). Esta região, rica em recursos hídricos e abrigando grande parte da Floresta Amazônica, enfrenta desafios únicos em termos de infraestrutura e desenvolvimento, refletidos na dificuldade de acesso a água potável. A região é composta por sete estados: Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins (Tucci, 2001).

A Amazônia Sul Ocidental, que abrange partes dos estados brasileiros do Acre, Rondônia e Amazonas, além de regiões no Peru (Departamentos de Madre de Diós e Ucayali) e na Bolívia (Departamento de Pando), ilustra bem essa situação. Embora seja uma região abençoada com vastos recursos hídricos, enfrenta sérios obstáculos no fornecimento de água tratada devido ao isolamento geográfico e à infraestrutura deficiente (Lima; Salgado, 2016). O Estado do Acre, parte integral dessa sub-região, é dividido em seis Unidades de Gestão de Recursos Hídricos (UGRH), mas ainda enfrenta desafios no abastecimento adequado de água em seus 22 municípios (Acre, 2014).

Figura 02 – Mapa da Amazonia Sul Ocidental



Fonte: O autor, 2024

A população do Estado do Acre é de 830.018 habitantes (IBGE, 2022), com uma concentração atual de 72% nas áreas urbanas (SNIS, 2021), notadamente na região de desenvolvimento do Baixo Acre, onde se encontra a capital, Rio Branco, com 364.756 habitantes - cerca de 44% da população total (IBGE, 2022).

Apesar de estar situada na bacia do rio Amazonas, a maior em volume de escoamento de água doce do planeta, a população do Acre, especialmente nas áreas urbanas e rurais mais remotas, sofre com a escassez de água tratada. Conforme destacado por Pereira e Franco (2023), a região Norte do Brasil é uma das mais carentes em termos de saneamento básico, agravando ainda mais a dificuldade no acesso à água potável. Mesmo a Amazônia, que detém quase um quinto da água doce do planeta, vê seus habitantes lutando para acessar esse recurso essencial em sua forma segura e tratada (Sampaio, 2017; Barros; Amin, 2008).

A escassez de infraestrutura adequada para tratamento e distribuição de água potável é uma realidade que afeta diretamente a qualidade de vida e a saúde pública na Amazônia Sul Ocidental. Em muitos municípios, a falta de estações de tratamento adequadas resulta em uma distribuição de água intermitente e, muitas vezes, de qualidade inferior, insuficiente para atender às necessidades básicas da população (Bordalo, 2017).

Além disso, Giatti (2007) ressalta que a implantação de estações de tratamento de água enfrenta desafios logísticos e financeiros, especialmente em áreas remotas da Amazônia, onde a falta de infraestrutura e capacidade técnica limita severamente as iniciativas de saneamento. Além disso, a gestão inadequada dos recursos hídricos contribui para a degradação da água, tornando-a imprópria para consumo humano (Barros; Amin, 2008).

O impacto dessa carência é evidenciado por estatísticas alarmantes: quase 35 milhões de brasileiros viviam em locais sem acesso à água tratada em 2019, com a Região Norte destacando-se negativamente, onde 40% dos domicílios não têm acesso a esse serviço básico (TRATA, 2021). Este cenário é exacerbado pelo estresse hídrico global, que afeta até mesmo regiões como a Amazônia, tradicionalmente vistas como abundantes em recursos hídricos, mas que enfrentam desafios significativos na garantia de água potável (Montefusco, 2021).

Mesmo em regiões com abundância de recursos hídricos, como a Amazônia, a disponibilidade de água potável não é garantida, destacando a necessidade de reavaliar a concepção de disponibilidade de água na região (Giatti, 2007).

Desta forma, Reymão e Saber (2009) veem sérios problemas no quesito gestão dos recursos no Brasil como um todo, o que restringe os direitos de acesso à água para grande parte da população. Pode-se perceber a disponibilidade dos recursos hídricos nos povoados da Amazônia Sul Ocidental Brasileira. No entanto, há carência de investimentos no meio urbano e principalmente rural quanto ao planejamento e a infraestrutura. A fragmentação de políticas públicas e a carência de instrumentos de regulamentação e regulação também estão entre os fatores relacionados ao déficit dos serviços de água e esgoto (Nascimento; Heller, 2005).

A falta de acesso à água potável tem sérias implicações para a saúde pública, com doenças como cólera e diarreia afetando principalmente a população mais vulnerável. Segundo Fogaça (2023), cerca de 69% das mortes por diarreia em 2019 foram resultado da falta de acesso a serviços básicos de água e saneamento (World Health Organization, 2023).

Desde a década de 1990, a questão do acesso à água potável é reconhecida como um fator de risco para a saúde pública e um obstáculo ao desenvolvimento social e econômico. A teoria da hierarquia de necessidades de Maslow destaca que a satisfação das necessidades básicas, como acesso à água potável, é fundamental para o bem-estar e o desempenho humano (Oliveira, 2015).

Em suma, a problemática do acesso à água tratada na Amazônia Sul Ocidental reflete não apenas desafios locais, mas também uma questão global de direitos humanos. O reconhecimento pela ONU do acesso à água potável como um direito essencial, reforçado pelos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, destaca a urgência de ações coordenadas e eficazes para garantir que todas as pessoas tenham acesso a esse recurso vital. É crucial que os governos, organizações e comunidades trabalhem juntos para superar os desafios de infraestrutura, gestão e acesso, garantindo assim um futuro mais igualitário e sustentável para todos, onde a água limpa e segura seja acessível a cada indivíduo, independentemente de sua localização geográfica ou condição socioeconômica.

1.3 ACESSO À ÁGUA TRATADA E OS OBJETIVOS DA AGENDA 2030

Com o objetivo de promover a preservação da vida humana e do planeta Terra, a Assembleia Geral das Nações Unidas consolidou os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) durante a Rio+20 em 2012, adicionando elementos pertinentes à conjuntura contemporânea. Esses objetivos, publicados em 2015, delinearam um plano de ação abrangente para o bem-estar das pessoas, a proteção do meio ambiente e o fomento da prosperidade, com o prazo máximo de 15 anos para execução, conhecido como Agenda 2030.

Entre os 17 ODS, destaca-se o sexto, que visa assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos. Guiado pelos propósitos da Carta das Nações Unidas, a primeira meta deste ODS é "alcançar, até 2030, o acesso universal e igualitário à água potável segura e a preços acessíveis para todos". Além disso, a quinta meta busca implementar a gestão integrada de recursos hídricos em todos os níveis, inclusive mediante a cooperação transfronteiriça.

Para alcançar esse objetivo, é fundamental uma mudança de visão sobre a importância da água como recurso econômico. A avaliação econômica dos ecossistemas aquáticos deve ser considerada como base para futuras medidas. Além disso, é necessário estabelecer uma administração que reconheça as necessidades da população, abasteça-a com água e saiba atendê-la, de acordo com critérios que promovam o crescimento sustentável e o desenvolvimento social.

Outro aspecto relevante é o desperdício de água, um dos principais problemas relacionados à disponibilidade e utilização dos recursos hídricos. É importante compreender o problema em sua totalidade, considerando não apenas o mau uso

residencial, mas também os equipamentos públicos e práticas econômicas em geral. Preservar a água é construir um futuro sustentável.

Além disso, o monitoramento das variáveis hidrológicas é essencial para o planejamento urbano sustentável, conforme estabelecido pela Lei Federal nº 9.433/1997, conhecida como Lei das Águas do Brasil. Esse monitoramento busca soluções frente às consequências dos eventos hidrológicos extremos e auxilia na gestão e manejo dos recursos hídricos para os diversos usos (Dias *et al.*, 2019; Tamwing *et al.*, 2022).

A urgência de combater os impactos das mudanças climáticas também é abordada nos ODS. O ODS 13 visa adotar ações para combater a mudança do clima e seus impactos, promovendo a conscientização e a capacidade humana e institucional relacionada à mitigação e adaptação. É essencial integrar políticas de mudança climática às estratégias de desenvolvimento nacional e global.

As mudanças climáticas já estão presentes. A chegada do fenômeno El Niño associado ao fenômeno do Atlântico Tropical Norte pode ter total relação com a seca histórica vivenciada pelos nortistas, conforme afirmam Garcia e Calgaro (2023) em reportagem do G1. Com sua chegada, em menos de seis meses já é possível registrar mais de 4 mil famílias desabastecidas de água potável somente na capital acreana, conforme Carranço (2023) em matéria da BBC News Brasil. Vale lembrar que o município de Rio Branco é dotado de estações de tratamento e redes de abastecimento. O que os ODS esperam alcançar é a integração das políticas de mudança climática às estratégias e planos de desenvolvimento nacional, e não apenas dos 193 estados membros da ONU, mas de todo o mundo.

Em virtude das diversas adversidades enfrentadas, o bem-estar da população sofre impactos substanciais. O Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 3 aborda esse problema com o propósito de "garantir vidas saudáveis e promover o bem-estar para todos, em todas as idades". No contexto do ODS 3, a terceira meta estabelece a aspiração de eliminação de doenças transmitidas pela água, bem como doenças epidêmicas e tropicais, até o ano de 2030. Além disso, a nona meta incorpora as enfermidades originadas pela poluição da água. Isso reflete uma clara preocupação com a promoção do bem-estar humano, com ênfase na erradicação de doenças associadas à água, tanto aquelas veiculadas por ela quanto aquelas causadas por sua ingestão.

Este caminho, sem dúvida, resultará em benefícios à população, especialmente para aqueles que vivem em comunidades remotas que não têm acesso a tratamentos

devidos e que estão expostos a águas poluídas e contaminadas, onde a reprodução de vetores e a proliferação de doenças é palpável. Assim, poder-se-á garantir o bem-estar às crianças e adolescentes permitindo-os manter sua atenção ao preparo educacional para um mundo melhor e com vidas saudáveis.

Outro ponto necessário de discussão sobre o acesso à água tratada e os ODS da agenda 2030 está no direito de acesso social e tratamento igualitário em chances e oportunidades. Não pode haver desenvolvimento sustentável, prosperidade ou paz sem equidade – oportunidades justas para cada criança e cada adolescente. Se as crianças e os adolescentes mais desfavorecidos não compartilham desse progresso, ele não será sustentável (UNICEF, 2023). Nesse sentido, o ODS 10 busca “reduzir a desigualdade dentro dos países e entre eles” “promovendo a capacitação e a inclusão social, econômica e política de todos”, bem como “garantir oportunidades iguais e reduzir as desigualdades de renda”, itens tratados nas metas dois e três do objetivo.

Entenda que, metade da população mundial não tem acesso à água potável, saneamento e higiene conforme dados da Organização Mundial da Saúde e que, se o mundo for capaz de reverter este quadro, 1,4 milhão de vidas poderão ser salvas (Nações Unidas, 2023). Diante desse contexto, é difícil esperar que pessoas submetidas a essas condições desiguais, antes que haja uma reversão efetiva, possam competir em igualdade de condições com outros em busca de empregos ou ao realizar projetos escolares. Portanto, apenas ao reduzir as disparidades entre as nações e dentro delas é que se poderá garantir oportunidades igualitárias para todos.

Por fim, a promoção da saúde e do bem-estar é central para a Agenda 2030. O ODS 3 busca garantir vidas saudáveis e promover o bem-estar para todos, com a meta de eliminar doenças transmitidas pela água e reduzir os impactos da poluição hídrica até 2030.

Essas prerrogativas não apenas melhorarão a qualidade de vida das pessoas, especialmente daquelas em comunidades vulneráveis, mas também contribuirão para um mundo mais justo, próspero e sustentável. No entanto, para alcançar esses objetivos, é necessário um compromisso global e ação coordenada de todos os setores da sociedade. Somente assim poder-se-á garantir que a água tratada seja acessível a todos, conforme estabelecido pela Agenda 2030 da ONU.

1.4 INICIATIVAS E SOLUÇÕES

Embora o saneamento básico não esteja explicitamente previsto como um direito social na Constituição Federal, pode-se considerar que faz parte do conjunto de serviços públicos essenciais à concretização dos direitos sociais à "moradia adequada" e à "melhoria de todos os aspectos de higiene", conforme delineado nos Artigos 11.1 e 12.2 do Pacto Internacional sobre Direitos Econômicos, Sociais e Culturais. A Convenção de Nova York, datada de 19 de dezembro de 1966, foi internalizada no ordenamento jurídico brasileiro pelo Decreto Legislativo nº 226, de 12 de dezembro de 1991, e promulgada por meio do Decreto nº 591, de 6 de julho de 1992, conforme citado por Cunha (2011).

Reconhecendo a grande importância da água como um recurso essencial à sobrevivência, os constituintes brasileiros conferiram à competência federal, por meio do inciso IV do Artigo 22 da Constituição Federal de 1988 (CF/88), o direito privativo de legislar sobre as águas do país. Além disso, a CF/88 autoriza a União a permitir que os estados legislem sobre esse recurso por meio da promulgação de uma Lei Complementar. Vale ressaltar que o inciso XIX do Artigo 21 da CF/88 já estabelece a responsabilidade da União em instituir um sistema nacional de gestão de recursos hídricos e definir critérios para a outorga de direitos de uso desses recursos, demonstrando uma preocupação precoce com a água, tanto em termos de quantidade quanto de qualidade da água.

Cunha (2011) aborda em seu texto "Saneamento Básico no Brasil: Desenho Institucional e Desafios Federativos" que, conforme estipulado pela Constituição Federal, a União detém a competência administrativa para estabelecer as diretrizes gerais do setor de saneamento básico (Constituição Federal, Artigo 21, inciso XX). Tanto a União quanto os estados-membros e os municípios têm a responsabilidade de promover programas de melhoria do saneamento básico (Constituição Federal do Brasil de 1988, Artigo 23, inciso IX). Além disso, cabe aos municípios legislar sobre questões de interesse local e organizar a prestação de serviços nessa esfera (Constituição Federal, Artigo 30, incisos I e V). Portanto, o direito humano à água é concretizado de maneira progressiva e contínua, havendo responsabilidade de prestação em todas as esferas do executivo Brasileiro.

Desde 2010, várias iniciativas têm sido implementadas para promover o acesso à água no Brasil e estão alinhadas com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030, como vistas no Quadro 01.

Quadro 1 – Iniciativas públicas e privadas que visam o acesso a água potável

Ano	Projeto
2011	Decreto nº 7.535 - Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Água - Programa Água para Todos - Tem como objetivo levar água para as regiões mais carentes do país, por meio da construção de sistemas de abastecimento e distribuição de água.
2013	Lei nº 12.873 - define o Programa Nacional de Apoio à Captação de Água de Chuva e outras Tecnologias Sociais - Programa Cisternas - tem como objetivo a promoção do acesso à água para o consumo humano e para a produção de alimentos por meio da implementação de tecnologias sociais simples e de baixo custo
2013	Plano Nacional de Saneamento Básico - PLANSAB - consiste no planejamento integrado do saneamento básico considerando seus quatro componentes: abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, coleta de lixo e manejo de resíduos sólidos e drenagem e manejo das águas pluviais urbanas, e possui o horizonte de 20 anos (2014 a 2033).
2017	Programa: Agora é Avançar - O programa previa a retomada e conclusão de obras de infraestrutura (do antigo PAC) durante o ano de 2018, incluindo obras de saneamento básico, o que engloba o abastecimento de água.
2017	Água + Acesso - é uma iniciativa de impacto coletivo empreendida por uma aliança inédita formada por empresas, institutos e organizações da sociedade civil que atuam e cooperam para ampliar o acesso à água segura e de forma sustentável em áreas e comunidades rurais de todo o Brasil.
2020	Lei n.º 14.026 - Novo marco do saneamento básico. A norma alterou a lei citada anteriormente como forma de abrir caminho para atrair investimentos privados para o setor e universalizar o tratamento de esgoto e o abastecimento de água no país.
2020	Programa Águas Brasileiras - Este programa tem como objetivo promover a universalização do acesso à água tratada e aprimorar a gestão dos recursos hídricos no país.
2020	Programa Semeando Águas - Busca ampliar a quantidade e a qualidade da água disponível para consumo e para o setor produtivo, de forma a fomentar o desenvolvimento regional e garantir mais qualidade de vida para a população.
2021	Programa Mais Água e Saneamento - Esse programa busca melhorar a infraestrutura de abastecimento de água e saneamento básico em áreas rurais do Brasil.
2022	Fundo das Nações Unidas para a Infância - UNICEF - atua para apoiar o desenvolvimento e a implementação de políticas públicas nos territórios mais vulneráveis, com especial atenção aos serviços de WASH em escolas, para os povos e comunidades tradicionais e no fortalecimento de capacidades dos municípios, localizados no Território da Amazônia Legal (TAM) e no Semiárido Brasileiro (SAB).
2023	Programa Dinheiro Direto na Escola Água e Esgotamento Sanitário - transfere recursos para assegurar abastecimento de água em condições apropriadas ao consumo humano e o esgotamento sanitário nas escolas de educação básica do campo, indígena e quilombola. O objetivo é contribuir para uma melhoria da qualidade do ambiente escolar e, conseqüentemente, do ensino e aprendizagem.
-	Planos Municipais de Saneamento Básico (PMSB): Municípios em todo o Brasil estão desenvolvendo seus PMSBs, que incluem metas e ações para melhorar o abastecimento de água e o saneamento em suas áreas, em conformidade com o ODS 6.

Fonte: O autor, 2024

Essas iniciativas, juntamente com outras ações governamentais, privadas e da sociedade civil, visam atender ao ODS 6, principal objetivo relacionado ao tema em estudo. É fundamental reconhecer que os Planos Municipais de Saneamento Básico desempenham um papel crucial nesse processo, pois permitem a expansão dos serviços de abastecimento de água e saneamento básico de forma eficaz, considerando as necessidades locais (Água+..., c2018, n.p).

A criação dos Planos Municipais de Saneamento Básico é de fato essencial para o cumprimento do ODS 6, uma vez que a expansão dos serviços de abastecimento de água e saneamento básico para comunidades isoladas muitas vezes ocorre de maneira mais eficaz por meio de ações municipais. Os municípios estão mais próximos da realidade local e, portanto, têm um entendimento mais aprofundado das necessidades e dos desafios enfrentados por suas populações.

No entanto, os municípios frequentemente enfrentam restrições orçamentárias, o que pode limitar sua capacidade de implementação dos planos. Nesse sentido, o apoio do governo federal é essencial, fornecendo recursos financeiros e diretrizes para orientar as ações locais.

Além disso, a cooperação entre os diferentes níveis do governo e o engajamento da sociedade civil e do setor privado são fundamentais para acelerar o processo de implementação e garantir um acesso mais rápido e eficaz à água potável e ao saneamento básico. A combinação desses esforços contribui para o bem-estar das comunidades e o avanço dos ODS, garantindo oportunidades igualitárias para todos, como preconizado pela Agenda 2030 da ONU.

1.5 DESAFIOS E OBSTÁCULOS

O Fundo das Nações Unidas para a Infância (Unicef) alerta que metade dos projetos de água e saneamento na América Latina fracassa em até cinco anos após sua implantação devido à ausência de modelos que garantam viabilidade e continuidade (Água+..., c2018, n.p). Esse problema também é evidente nas comunidades da Amazônia Sul Ocidental, onde fatores como o isolamento dos centros urbanos, baixa densidade populacional e dificuldades de acesso podem determinar quais áreas serão atendidas, deixando outras sem cobertura.

Para garantir a eficácia e a transparência na aplicação de recursos públicos, é fundamental um planejamento abrangente, embasado em uma série de fatores que justifiquem a seleção da comunidade, o local de implantação e o número de beneficiados. Isso demanda estudos geotécnicos, hidrogeológicos e análises de custo-

benefício, além da elaboração de projetos completos e orçamentos para construção e manutenção das estações de tratamento de água.

Cumprir essas demandas são essenciais para assegurar a viabilidade e eficiência da implantação de uma estação de tratamento de água, garantindo que os recursos públicos sejam alocados de maneira eficaz e transparente. E tudo isso demanda tempo e recurso consideráveis.

Cirilo (2015), afirma que existem dois tipos de escassez de água: a escassez econômica, que ocorre devido à falta de investimento e é caracterizada por pouca infraestrutura e por distribuição desigual de água, e a escassez física, que ocorre quando os recursos hídricos não conseguem atender à demanda da população. Dessa forma, a “crise” da água doce na Amazônia se faz presente de duas formas, uma que envolve a quantidade de água doce, sejam as superficiais, ou as subterrâneas armazenadas nos aquíferos, ou precipitados na forma de chuva, e a sua qualidade em relação aos desejáveis parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos, que permitam uma potencial (oferta) disponibilidade hídrica para atender as reais demandas atuais e futuras em relação às diferentes formas de uso, rural, doméstico e industrial (Bordalo, 2017; Pereira e Franco, 2023).

Considerando esses desafios, é claro que a promoção do acesso à água tratada e o alcance do ODS 6 por métodos convencionais são fundamentais. No entanto, existem limitações nas alternativas temporárias, como escavação de poços e fornecimento por carros-pipa, que incluem alcance limitado, vulnerabilidade às mudanças climáticas e custos elevados em relação aos benefícios.

Embora essas soluções possam ser úteis em emergências, é importante buscar soluções mais sustentáveis a longo prazo. Portanto, é necessário investir em sistemas convencionais de abastecimento de água para garantir o acesso seguro e contínuo à água potável, especialmente em áreas isoladas. A cooperação entre os governos federal, estadual e municipal, aliados à participação da sociedade civil e do setor privado é essencial para superar esses desafios e promover o acesso universal à água tratada.

1.6 PERSPECTIVAS FUTURAS E RECOMENDAÇÕES

O temor de que a Agenda 2030 não seja cumprida é uma preocupação global, e o Brasil não é exceção. O progresso desacelerou após a pandemia da Covid-19, enquanto a crise climática se intensifica, desviando diversos objetivos relacionados à fome, saúde, biodiversidade e sociedades pacíficas de suas trajetórias (Nações Unidas, 2023).

Maria Neira, diretora do Departamento de Saúde Pública, Determinantes Ambientais e Sociais da OMS, alerta que, sem esforços intensificados em saneamento, água potável e higiene, doenças como diarreia, cólera e febre tifoide continuarão a afetar populações vulneráveis (UNICEF Brasil, 2019). Ela enfatiza que "os países devem dobrar seus esforços em saneamento básico ou não alcançaremos o acesso universal até 2030". Essa situação sublinha a necessidade urgente de investimentos e cooperação internacional na gestão sustentável dos recursos hídricos.

Nesse contexto, os países, por meio da Organização das Nações Unidas, têm promovido encontros e assinado tratados internacionais para desenvolver um modelo mais adequado de gestão de recursos hídricos, reconhecendo que a água é um recurso de interesse coletivo, especialmente para nações com grandes reservatórios hídricos.

A complexidade das bacias hidrográficas compartilhadas pode gerar tensões entre Estados quanto aos usos pretendidos, o que, em alguns casos, pode levar a conflitos (Oliveira; Almeida, 2003; Oliveira; Junior, 2015). Isso ressalta a necessidade de uma cooperação internacional robusta para garantir uma gestão sustentável e equitativa dos recursos hídricos, reconhecendo a interdependência entre as nações.

Em setembro de 2023, durante a Cúpula dos ODS, chefes de Estado, governo e representantes dos 193 Estados-membros reafirmaram seu compromisso com a implementação eficaz da Agenda 2030 e seus Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. "A Agenda 2030 continua sendo o roteiro global para alcançar o desenvolvimento sustentável e superar as múltiplas crises que enfrentamos" (GTSC A2030, 2023).

No Brasil, estão em andamento esforços rigorosos para cumprir os compromissos estabelecidos. Contudo, o Relatório Luz de 2023 mostra que, dentre as 169 metas, 102 metas (60,35%) estão em situação de retrocesso, 14 (8,28%) ameaçadas, 16 (9,46%) estagnadas em relação ao período anterior, 29 (17,1%) com progresso insuficiente, apenas 3 (1,77%) com progresso satisfatório, 4 (2,36%) delas sem dados suficientes para classificação, sendo que 1 (0,59%) não se aplica ao Brasil (GTSC A2030, 2023).

Para atingir essas metas, precisa-se investir em educação. Preparar as gerações para entender a realidade futura em que estarão inseridas é essencial para promover o uso responsável da água. A formação de crianças e jovens em relação ao uso da água, seu tratamento e, sobretudo, a conscientização sobre a importância de evitar o desperdício, desempenham um papel crucial. A nível Brasil, mais de 40% da água

tratada foi perdida na distribuição. No Acre esse valor chega a incríveis 74% (SNIS, 2021). Logo, um olhar dos governantes sobre a manutenção das redes já existentes auxiliará no acesso a água em condições de consumo. Se as taxas de desperdício não forem reduzidas, o investimento em tratamento poderá ser em vão e o tão sonhado acesso será mais prejudicado.

É preocupante que apenas 12% das metas dos ODS estejam no caminho certo, enquanto quase metade está moderada ou gravemente fora do rumo e cerca de 30% não registraram qualquer progresso ou ficaram abaixo da linha de partida de 2015 (Nações Unidas, 2023). Esses dados indicam um descomprometimento com os objetivos acordados e sugerem a necessidade de reavaliar e intensificar os esforços para alcançar um desenvolvimento sustentável global.

A implementação de soluções temporárias, como perfuração de poços com tratamento biológico, pode ser uma solução valiosa para o abastecimento de água em comunidades isoladas. No entanto, é crucial vincular essas soluções a planos futuros, como a construção de estações de tratamento de água, para garantir o fornecimento sustentável de água potável.

Essa abordagem integrada considera não apenas a urgência de atender às necessidades imediatas, mas também estabelece uma estratégia de longo prazo para garantir o acesso contínuo a água de qualidade. Ao implementar soluções temporárias, as comunidades isoladas podem ter um suprimento imediato, enquanto os planos mais abrangentes para estações de tratamento proporcionam uma solução duradoura e sustentável.

1.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O acesso à água potável é uma necessidade fundamental para a subsistência humana e a qualidade de vida, especialmente nas áreas remotas da Amazônia Sul Ocidental. O artigo destacou os desafios significativos enfrentados nessa região, incluindo a falta de infraestrutura, capacitação técnica insuficiente e escassez de investimentos adequados em sistemas de abastecimento de água.

Embora tenham sido observados esforços para atender a esses desafios, os resultados ainda estão aquém do desejado, refletindo a distância entre a realidade atual e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pela Agenda 2030 das Nações Unidas. O compromisso com o ODS 6, que visa "Água Limpa e Saneamento", é evidente, mas a implementação prática ainda enfrenta desafios significativos.

A acessibilidade à água tratada é particularmente problemática em áreas rurais e povoados isolados, onde a infraestrutura é escassa e a falta de educação sobre o consumo responsável agrava a situação. A dependência de fontes não tratadas durante períodos de estiagem aumenta os riscos de doenças relacionadas à água, colocando em perigo a saúde e a vida das comunidades locais.

Embora tenham sido propostas soluções alternativas temporárias, como a perfuração de poços, é essencial vincular essas medidas a planos de longo prazo que incluam o desenvolvimento de infraestrutura sustentável de tratamento de água. Isso garantiria não apenas o suprimento imediato de água potável, mas também uma solução duradoura e segura para as comunidades da região.

A implementação efetiva dessas propostas exigirá um esforço coordenado e investimentos adequados, além de uma mudança de mentalidade em relação à gestão dos recursos hídricos. A cooperação internacional também desempenhará um papel crucial, dada a complexidade das questões envolvidas e a necessidade de abordagens colaborativas para a gestão sustentável dos recursos hídricos compartilhados.

Por fim, garantir o acesso sustentável e seguro à água potável na Amazônia Sul Ocidental, em especial atenção ao Estado do Acre, requer um compromisso contínuo com a implementação de estratégias abrangentes e a alocação de recursos adequados. Somente através de esforços conjuntos, tanto a nível local quanto global, poderemos superar os desafios e alcançar o objetivo de fornecer água potável para todos, contribuindo assim para um futuro mais equitativo e sustentável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACRE. **Governo do Estado do Acre**. Acre. Brasil, 2023. Disponível em: <https://estado.ac.gov.br/acre/>. Acesso em: 13 de agosto de 2023.

ACRE. Governo do Estado do Acre. **Caderno das Unidades de Gestão de Recursos Hídricos do Acre / Secretaria de Estado do Meio Ambiente**. – Rio Branco: SEMA, 2014. Disponível em: https://www.fundoamazonia.gov.br/export/sites/default/pt/.galleries/documentos/acervo-projetos-cartilhas-outros/Acre-VAAF-Caderno-Unid_Gestao_Recursos_Hidricos.pdf. Acesso em: 08 de setembro de 2023.

ACRE. Secretaria de Estado de Meio Ambiente. **Plano estadual de recursos hídricos do Acre** – Rio Branco: SEMA, 2012. Disponível em: https://imc.ac.gov.br/wp-content/uploads/2016/09/Plano_Estadual_Recursos_Hidricos.pdf. Acesso em: 08 de setembro de 2023.

ÁGUA+ ACESSO. **Água+ Acesso, c2018**. Página Inicial. Disponível em: <https://aguamaisacesso.com.br/>. Acesso em 04 de outubro de 2023.

AZEVEDO, R. P. **Uso de água subterrânea em sistema de abastecimento público de comunidades na várzea da Amazônia central**. Acta Amazônica, Manaus, v. 36, n. 3, p. 313-320, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aa/a/gkPbZ8VBWgSFrZrwVNhnNjN/>. Acesso em: 15 de setembro de 2023.

BARROS, F. G. N.; AMIN, M. M. **Água: um bem econômico de valor para o Brasil e o mundo**. Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional, Taubaté, v. 4, n.1, p. 75-108, jan./abr. 2008. Disponível em: <https://www.rbgdr.net/revista/index.php/rbgdr/article/view/116>. Acesso em: 10 de setembro de 2023.

BORDALO, C. A. **O paradoxo da água na região das águas: o caso da Amazônia brasileira**. Geosp – Espaço e Tempo (Online), São Paulo, v. 21, n. 1, p. 120-137, abr. 2017. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/geosp/article/view/107531>. Acesso em: 06 de maio de 2023.

BRASIL. **Lei 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, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 1990. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm. Acesso em: 12 de dezembro de 2022.

CARRANÇA, Thais. **Sem água na torneira, comida mais cara: o suplício das famílias em seca histórica na Amazônia**. BBC News Brasil, São Paulo, 28 de setembro de 2023. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/articles/c109gg1304qo>. Acesso em 03 de outubro de 2023.

CIRILO, J. A. **Crise Hídrica: Desafios e Superação**. Revista USP, São Paulo, n. 106, p. 45-58, jul./set. 2015. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/revusp/article/view/110102>. Acesso em: 06 de agosto de 2023.

CUNHA, Alexandre dos Santos. **Saneamento Básico no Brasil: desenho institucional e desafios federativos**. Instituto de Pesquisa Econômica e Aplicada – IPEA: Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/1338/1/TD_1565.pdf. Acesso em: 04 de outubro de 2023.

DIAS, L. C.; FERNANDES, L. L.; LOPES, D. F.; **Elaboração e extrapolação de curvas chave na Região Amazônica**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 12, n. 6, p. 2285-2301, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.6.p2285-2301>. Acesso em: 04 de outubro de 2023.

FEACHEM, R. G. *et. al.*, **Sanitation and disease: health aspects of excreta and wastewater management**. Chichester: John Wiley, 1983. Disponível em: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/704041468740420118/pdf/multi0page.pdf>. Acesso em 11 de setembro de 2023.

FOGAÇA, A. B. **Dados da ONU mostram que metade da população mundial não tem acesso à água potável.** Jornal da USP, agosto, 2023. Disponível em: <https://jornal.usp.br/campus-ribeirao-preto/dados-da-onu-mostram-que-metade-da-populacao-mundial-nao-tem-acesso-a-agua-potavel/>. Acesso em: 02 de outubro de 2023.

GARCIA, M.; CALGARO, F.; **Seca fora do normal em rios da Amazônia tem relação com El Niño e aquecimento do Atlântico Norte.** G1, Manaus, 28 de setembro de 2023. Seção: Meio Ambiente. Disponível em: <https://g1.globo.com/meio-ambiente/noticia/2023/09/28/seca-fora-do-normal-em-rios-da-amazonia-tem-relacao-com-el-nino-e-aquecimento-do-atlantico-norte-entenda.ghtml>. Acesso em: 03 de outubro de 2023.

GIATTI, L. L. **Reflexões sobre Água de Abastecimento e Saúde Pública: um estudo de caso na Amazônia Brasileira.** Saúde e Sociedade, São Paulo, v. 16, n. 1, p. 134-144, jan./abr. 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sausoc/a/j9ytQWkvjqLyRp3b3kgSmPK/>. Acesso em: 05 de agosto de 2023.

GTSC A2030. **Grupo de Trabalho da Sociedade Civil para a Agenda 2030.** VII Relatório Luz da Sociedade Civil da Agenda 2030 de Desenvolvimento Sustentável – Brasil. Edição: Gestos – Soropositividades, Comunicação e Gênero, 2023. Disponível em: https://brasilnaagenda2030.files.wordpress.com/2023/10/rl_2023_webcompleto-v9.pdf. Acesso em: 05 de outubro de 2023.

GUERRA, S. C. S. **Amazônia Azul: o “Novo Território” Brasileiro.** Revista do Direito, Barra Mansa, Ano 1, n. 1, p. 126-143, jul. 2011. Disponível em: <https://www.ubm.br/revista-direito/pdf/ef0b5963d509331bb6b685856dc51f22.pdf>. Acesso em: 09 de agosto de 2023

IBGE. **Panorama do Censo Demográfico.** Brasil, 2022. Disponível em <https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/>. Acesso em: 11 de agosto de 2023.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Ranking do Saneamento Instituto Trata Brasil 2021 (SNIS - 2019).** GO Associados, São Paulo, mar. 2021. Disponível em: https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2022/09/Relatorio_-_Ranking_Trata_Brasil_2021_v2.pdf. Acesso em: 06 de maio de 2023.

LIMA, D. S.; SALGADO, C. B. **A Amazônia Sul-Occidental e a Estrada do Pacífico na contramão da integração regional.** In: ENCONTRO NACIONAL DE GEÓGRAFOS, 18., São Luís. Anais Eletrônicos..., São Luís: AGB, 2016. Disponível em: <http://www.eng2016.agb.org.br/site/anaiscomplementares2?AREA=13>. Acesso em: 12 de agosto de 2023.

MASLOW, A. H. **Motivation and Personality.** 1. ed. New York: Harpe, 1954. 369 p.

MEKONNEN, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. **Four billion people facing severe water scarcity.** *Science Advances*, Washington D. C., v. 2, n. 2, p. 1-6, fev. 2016. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.1500323>. Acesso em: 04 de agosto de 2023.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento - SNIS.** Painel de Informações sobre Saneamento, 2021. Disponível em <https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e>

programas/saneamento/snis/produtos-do-snis/painel-de-informacoes. Acesso em: 10 de agosto de 2023.

MONTEFUSCO, C. L. A. **Desafios do Acesso à Água Potável: A Real Situação do Abastecimento Público de Água na Área Urbana da Cidade de Rio Branco, Acre, Brasil, 2022**. 178 fls. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência, Inovação e Tecnologia para a Amazônia, Universidade Federal do Acre, Rio Branco, 2022. Disponível em: <http://www2.ufac.br/cita/dissertacoes/2022/carolina-de-lima-accorsi-montefusco/view>. Acesso em: 08 de maio de 2023.

NAÇÕES UNIDAS. **Como a Cúpula dos ODS da ONU pretende transformar o mundo**. ONU News, 11 de setembro de 2023. Seção: Perspectiva Global Reportagens Humanas. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2023/09/1820192>. Acesso em: 03 de outubro de 2023.

NAÇÕES UNIDAS. **Declaração Política da Cúpula dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, ODS**. ONU News, 19 de setembro de 2023. Seção: Perspectiva Global Reportagens Humanas. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2023/09/1820612>. Acesso em: 03 de outubro de 2023.

NAÇÕES UNIDAS. **OMS: Acesso à água limpa pode salvar 1,4 milhão de vidas. ONU News, 29 de junho de 2023**. Seção: Perspectiva Global Reportagens Humanas. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2023/06/1816807>. Acesso em: 03 de outubro de 2023.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Casa ONU Brasil, Brasília, DF, Brasil, 2023. Disponível em <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 08 de agosto de 2023.

NASCIMENTO, N. O.; HELLER, L. **Ciência, tecnologia e inovação na interface entre as áreas de recursos hídricos e saneamento**. Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v. 10, n. 1, p. 36-48, mar. 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/dQkgWPTQL8mQfGKvMmKnCyC/abstract/?lang=pt>. Acesso em 20 de setembro de 2023.

OLIVEIRA, A. F.; LEITE, I. C.; VALENTE, J. G. **Carga Global das doenças diarreicas atribuíveis ao sistema de abastecimento de água e saneamento em Minas Gerais, Brasil, 2005**. Ciência & Saúde Coletiva, Volume: 20, Número: 4, Publicado: 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csc/a/dfGwKkYkLmpzq8DgCmzf4Wh/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 03 de outubro de 2023.

OLIVEIRA, C. M.; ALMEIDA, R. C. **Experiência estrangeira na gestão dos recursos hídricos**. In: WENDLAND, E.; SHALCH, V. (org.). Pesquisas em meio ambiente: subsídios para a gestão de políticas públicas. São Carlos: RiMa, 2003. vol. 2, p. 31-50.

OLIVEIRA, C. M.; JUNIOR, O. P. A.; **Evolução das regras jurídicas internacionais aplicáveis aos recursos hídricos**. Revista de Direito Ambiental; vol 80; p. 423 – 447; dez. 2015.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS - ONU. **O Direito Humano à Água e Saneamento**. Assembleia Geral das Nações Unidas, Programa da Década da Água da ONU-Água sobre Advocacia e Comunicação, 2010. Disponível em https://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/human_right_to_water_and_sanitation_medi_a_brief_por.pdf. Acesso em: 07 de agosto de 2023.

PEREIRA, J da S.; FRANCO, A. de O. Os desafios do saneamento básico na cidade de Rio Branco-Acre, Brasil. Revista Uáquiri, v. 05, n 1, p. 56-69, 2023. Disponível em: <https://periodicos.ufac.br/index.php/Uaquiri/article/view/6473/4153>. Acesso em 21 de maio de 2024.

PEREIRA, J da S.; FRANCO, A. de O. Águas subterrâneas e sua importância para o abastecimento na cidade de Rio Branco- Acre. Revista Uáquiri, v. 05, n 1, p. 176-190. Disponível em: <https://periodicos.ufac.br/index.php/Uaquiri/article/view/6479/4160>. Acesso em 21 de maio de 2024.

RAZZOLINI, M. T. P.; GÜNTHER, W. M. R. **Impactos na Saúde das Deficiências de Acesso a Água**. Saúde e Sociedade, São Paulo, v. 17, n. 1, p. 21-32, mar. 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sausoc/a/TwckDnkwdMQQGxNX4fjmMsd/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 11 de setembro de 2023.

REYMÃO, A. E.; SABER, B. A. **Acesso à água tratada e insuficiência de renda: duas dimensões do problema da pobreza no Nordeste Brasileiro sob a óptica dos objetivos de desenvolvimento do milênio**. Revibec: Revista Iberoamericana de Economía Ecológica, Barcelona, v. 12, p. 1-15, out. 2009. Disponível em: <https://raco.cat/index.php/Revibec/article/view/164730>. Acesso em: 20 de setembro de 2023.

SAMPAIO, A. P. L. **Abastecimento de Água para Comunidades Amazônicas: Estudo do Caso Vila do Lago Limão, Município de Iranduba, Estado Amazonas**. Marupiará | Revista Científica do CESP/UEA, Parintins, Ano 1, n. 1, p. 1-15, maio. 2017. Disponível em: <https://periodicos.uea.edu.br/index.php/marupiará/article/view/425>. Acesso em: 09 de setembro de 2023.

SILVA, G. N. **A influência do desmatamento na Amazônia sobre a pluviosidade da Região Sudeste e sua relação com a crise hídrica paulistana (2013-2016)**; 23ª Semana de Biologia, Unesp, 2017.

TAMWING, D. S.; MONTEFUSCO, C. L. A.; IRURETA, O. O. A.; MESQUITA, A. A.; SERRANO, R. O. P.; MOREIRA, J. G. V.; **Relação cota-vazão e ajuste da curva-chave: estudo de caso na bacia hidrográfica do Rio Acre, Brasil**. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, v.13, n.1, p.129-140, janeiro de 2022. Disponível em: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2022.001.0011>. Acesso em: 04 de outubro de 2023.

TUCCI, C. E. M.; HESPANHOL, I.; NETTO, O. M. C. **Gestão da Água no Brasil**. Brasília: UNESCO, 2001. 156 p.

TUNDISI, José Galizia. **Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções**. Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo, Volume: 22, Número: 63, Publicado: 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/7gyMPtTzfkYfWWsMHqVLTqm/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 04 de outubro de 2023.

UNICEF BRASIL. **1 em cada 3 pessoas no mundo não tem acesso a água potável, dizem o UNICEF e a OMS**. Seção: para cada criança. Disponível em: <https://www.unicef.org/brazil/comunicados-de-imprensa/1-em-cada-3-pessoas-no-mundo-nao-tem-acesso-agua-potavel-dizem-unicef-oms>. Acesso em: 03 de outubro de 2023.

UNICEF BRASIL. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável: Ainda é possível mudar 2030.** Seção: para cada criança. Disponível em: <https://www.unicef.org/brazil/objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel>. Acesso em: 03 de outubro de 2023.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Burden of disease attributable to unsafe drinking-water, sanitation and hygiene, 2019 Update.** Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240075610>. Acesso em: 02 de outubro de 2023.

CAPÍTULO II

SITUAÇÃO DO ABASTECIMENTO DE ÁGUA DO MUNICÍPIO DE BUJARI - ACRE: uma análise do parâmetro demanda *versus* disponibilidade atual e futura pelo modelo Chuva-vazão

RESUMO

Mesmo possuindo uma das maiores reservas de água doce do planeta, o Brasil sofre com secas periódicas, e o município de Bujari, no Acre, é um exemplo dessa realidade. Embora disponha de um sistema de abastecimento que capta água na barragem existente no curso do Igarapé Redenção, há recorrentes faltas de água durante determinados períodos do ano. Este estudo tem como objetivo quantificar a demanda da Estação de Tratamento de Água (ETA) de Bujari para a população do município e o Aeroporto Internacional de Rio Branco, comparando-a com a disponibilidade no açude do Igarapé Redenção por meio do modelo chuva-vazão. Observou-se que, já em 2024, há uma escassez de água durante o período seco, quando a disponibilidade se torna inferior à demanda recorrente, sendo este problema suscetível de agravamento com o aumento da demanda futura.

Palavras-chave: Sistema de Abastecimento de Água. Consumo per capita. Disponibilidade hídrica. Modelo Chuva-vazão.

ABSTRACT

Despite having one of the largest freshwater reserves on the planet, Brazil suffers from periodic droughts, and the municipality of Bujari, in Acre, is a case in point. Although it has a water supply system that captures water in the existing dam on the course of the Igarapé Redenção, there are recurring water shortages during certain times of the year. This study aims to quantify the demand of the Bujari Water Treatment Plant (WTP) for the municipality's population and the Rio Branco International Airport, comparing it with the availability in the Igarapé Redenção reservoir using the rainfall-runoff model. It was observed that, as early as 2024, there is a water shortage during the dry period when availability becomes lower than the recurring demand, and this problem is likely to worsen with the future increase in demand.

Keywords: Water Supply System. Per Capita Consumption. Water Availability. Rain-flow model.

2.1 INTRODUÇÃO

Embora o Brasil possua uma das maiores reservas de água doce do mundo, o país enfrenta secas periódicas, impactando significativamente várias regiões (Silva, 2017). A Amazônia, conhecida por sua vasta biodiversidade, a maior bacia fluvial e a maior floresta tropical do planeta (Gomes; Piqueras, 2016), também enfrenta desafios relacionados ao acesso à água potável. Giatti e Cutolo (2012) destacam as dificuldades encontradas nos municípios e povoados amazônicos para obter água tratada. Um exemplo disso é o município de Bujari, no Estado do Acre, que, apesar de possuir um sistema de tratamento e abastecimento de água, enfrenta problemas no fornecimento em determinados períodos do ano.

O município de Bujari é um dos 22 municípios que compõem o estado do Acre. Com um território de 3034,87 km² de área (IBGE, 2022), faz limite com os municípios de Porto Acre, Sena Madureira e a Capital Rio Branco, além de fazer divisa com o Estado do Amazonas (Acre, 2014).

Segundo a Confederação Nacional dos Municípios, surgiu como um povoado posteriormente elevado à categoria de Vila, em 1986, devido a construção da BR 364. Foi elevado à categoria de município com a denominação de Bujari pela Lei Estadual n.º 1.031, de 28/04/1992, alterada pela Lei Estadual n.º 1.066, de 09/12/1992, desmembrado do município de Rio Branco (Bujari, c2024).

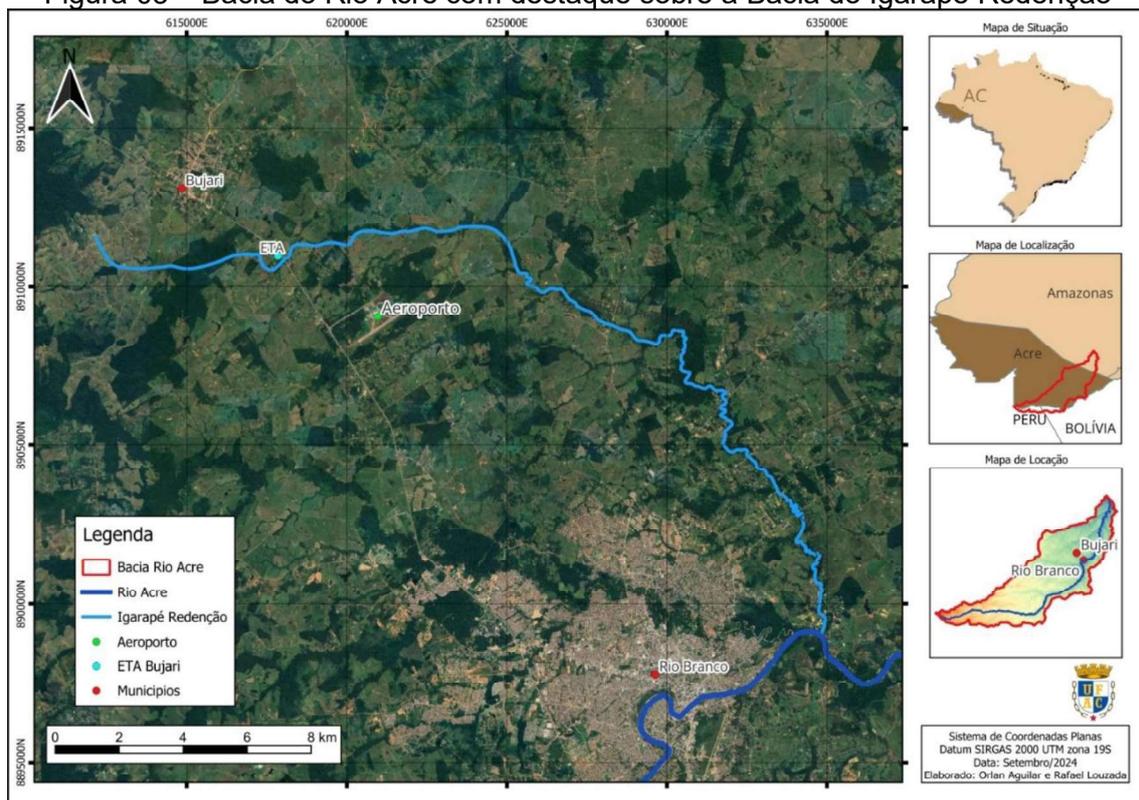
Quanto ao relevo, o município apresenta seu território tomado por planícies com alturas do terreno entre 100 e 200 metros (Acre, 2014). Quanto a geologia, sua unidade geotectônica mais importante é a bacia do Acre, que compreende, em superfície, unidades essencialmente cenozoicas (Cavalcante, 2006). Compõe a formação Solimões inferior, sendo composta por rochas sedimentares sob a forma de argilitos com intercalações de siltitos, arenitos finos, calcários e material carbonoso - linhito - (Acre, 2010). Sua formação geológica contribui para um alto risco de inundação, por se tratar de uma bacia sedimentar com uma extensa rede de drenagem (Araújo; Medeiros; Serrano, 2022).

Quanto ao clima, o município de Bujari apresenta curta estação seca: clima tropical úmido ou subúmido. Caracteriza-se por apresentar temperatura média do mês mais frio sempre superior a 18°C, apresentando uma estação seca de pequena duração que é compensada pelos totais elevados de precipitação (Acre, 2014). Semelhante a outros municípios da região Norte, apresenta um período chuvoso e um período seco, conhecidos como inverno e verão amazônicos, respectivamente, conforme

demonstrado na pesquisa de Silva (2022). O período de inverno amazônico, de dezembro a maio, é caracterizado por intensas chuvas, enquanto o verão amazônico, de junho a novembro, é caracterizado pelo elevado calor, baixa pluviosidade e os recorrentes períodos de seca local (Siqueira, 2019). Desta forma, os cursos d'água da região apresentam elevada amplitude hídrica.

O município de Bujari é limite à Capital Acreana e ambos se encontram dentro da Bacia Hidrográfica do Rio Acre, bacia que se situa na Amazônia Sul Ocidental, compartilhada pelos estados brasileiros do Acre e Amazonas, pelo departamento peruano de Madre de Dios e pelo departamento boliviano de Pando (Acre, 2012; Tamwing, 2022). A Bacia do Rio Acre ainda apresenta uma rede hidrográfica formada por cursos de água volumosos e sinuosos, que escoam no sentido Sudoeste para o Nordeste; possui uma área de aproximadamente 35.792 km² e seu rio principal possui uma extensão em torno de 1.200 km (Acre, 2017; CPMR, 2021; Tamwing et al, 2021).

Figura 03 – Bacia do Rio Acre com destaque sobre a Bacia do Igarapé Redenção



Fonte: O autor, 2024.

A água, como elemento vital para a existência humana, frequentemente influencia na determinação do local de formação de povoados e municípios, o que comumente ocorre adjacente aos corpos d'água. Em todo o Brasil é fácil identificar as áreas mais antigas dos municípios situadas ao longo de seus rios principais (Baptista; Cardoso, 2013). No entanto, essa não é a realidade do município de Bujari, no estado

do Acre, pois este município, cujo abastecimento é proveniente das águas represadas do Igarapé Redenção, está adjacente à sua fonte de abastecimento, não possuindo essa característica tão comum.

A bacia do Igarapé Redenção (destacada em vermelho no mapa anterior) é uma das diversas microbacias contribuintes da Bacia do Rio Acre. Uma pequena barragem no Igarapé Redenção, confeccionada no ano de 2005, forma um tanque reservatório que o torna responsável pelo fornecimento da água bruta consumida pelo município de Bujari (A Gazeta do Acre, 2010).

No entanto, três dificuldades se apresentam para o abastecimento do município e justificam este estudo: O primeiro ponto é que desde 2010, pelo menos uma vez ao ano (em quase todos os anos), o município tem sofrido com a falta ou o racionamento d'água por cerca de trinta dias, afetando o dia a dia dos moradores; O segundo ponto se dá pela localização do Aeroporto Internacional Plácido de Castro no limite entre os municípios de Bujari e a Capital Rio Branco, e que também é abastecido pelo sistema de tratamento de água de Bujari, sendo outro afetado pela falta d'água. Os aeroportos, em geral, demandam grande quantidade de água em suas atividades, influenciando no consumo do local onde estão instalados (Freire, 2011), sendo que a maior parte do consumo de água em um aeroporto ocorre nos banheiros, especialmente nos vasos sanitários, que tradicionalmente consomem cerca de 12 litros em apenas um fluxo (INFRAERO, 2006; Calijuri *et. al.*, 2007); o terceiro ponto figura no elevado índice de perdas na distribuição (IN049) que alcançou alarmantes 78,76 pontos percentuais, conforme apontado pelo SNIS (2022), aumentando a demanda por água na extração.

Em anos como 2017, 2018, 2021 e 2022 o nível d'água no reservatório bateu recorde de mínimo acumulado, sendo necessário a complementação do fornecimento por meios alternativos, como o uso de caminhões pipa (Penetra, 2018; Rodrigues, 2019; Gomes, 2021; Nascimento, 2022). Houve, inclusive, nota por parte da Administração do Aeroporto, em 2022, com redução de alguns serviços para a manutenção das atividades essenciais até o reestabelecimento do fornecimento normal de água (Brasil, 2022).

O Sistema de Abastecimento de Água do Município é de responsabilidade do Serviço Estadual de Água e Esgoto do Acre – SANEACRE (antigo DEPASA), autarquia estadual desde o ano de 2010. Conforme relatório da Agência Reguladora do Acre – AGEAC e do SANEACRE, as principais unidades que compõem o sistema de abastecimento de água do município de Bujari, são: I. Captação superficial; II. Elevatória de água bruta; III. Adutora de água bruta; IV. Estação de tratamento de água compacta;

V. Elevatória de água tratada; VI. Reservatórios; VII. Rede de distribuição; e VIII. Ligações prediais (Acre, 2022; Acre, 2023).

O abastecimento de água da cidade ocorre pela captação superficial no Igarapé Redenção, através de uma barragem de nível. Após receber tratamento na Estação de Tratamento compacta existente no local, a água vai para um reservatório apoiado (R1) e é recalçada para o aeroporto de Rio Branco e para os outros reservatórios da cidade (R2 e R3) e, dessa forma, é distribuída à comunidade através das redes (Acre, 2022).

Conforme dados do Acre (2014), o município de Bujari está majoritariamente localizado na Unidade de Gestão de Recursos Hídricos – UGRH – Acre-Iquiri, possui tratamento de água por meio de uma Estação de Tratamento de Água – ETA – compacta que possui uma capacidade nominal de 30 l/s de fornecimento de água tratada. No entanto, segundo a Agência Reguladora do Acre – AGEAC – através do Relatório Técnico de Fiscalização produzido pelos fiscais da Divisão Técnica de Saneamento – DISAM –, o sistema em si foi classificado como insatisfatório, apresentando diversas inconformidades (Acre, 2022).

Percebe-se que o abastecimento da ETA de Bujari é um problema atual e que pode se agravar no futuro. Dessa maneira, tem-se como objetivo analisar a capacidade de oferta d'água (reservação) na barragem do Igarapé Redenção frente a demanda por água tratada para a ETA de Bujari em tempos atuais e sua previsão para os próximos 40 anos. Espera-se, com isso, entender a saúde desse serviço.

2.2 MATERIAL E MÉTODO

Para alcançar o objetivo deste artigo, o estudo envolveu a quantificação do consumo de água potável, a caracterização morfométrica da bacia do Igarapé Redenção e a análise do sistema de abastecimento, com o estabelecimento da capacidade de oferta hídrica. O estudo é de natureza quali-quantitativa: qualitativo, por descrever a bacia do Igarapé Redenção, permitindo a análise e compreensão das relações existentes; e quantitativo, por quantificar informações a partir de dados volumétricos e estatísticos que subsidiaram as análises.

Classificada em sua natureza como pesquisa aplicada, devido ao objetivo de se produzir conhecimento que sirva para solucionar problemas específicos locais, segue-se o método de pesquisa exploratório aplicado a três frentes de caracterização: populacional, morfométrica e de abastecimento com a finalidade de análise de oferta e demanda. Procedeu-se com levantamento de informações a setores geradores de dados, consulta a órgãos fiscais e através de processos de cálculo.

2.2.1 PROCESSOS PARA O ESTABELECIMENTO DA DEMANDA

A demanda de água corresponde à estimativa da vazão de retirada, ou seja, à água captada destinada a atender os diversos usos consuntivos, como usos urbanos, industriais, para irrigação e criação de animais (ANA, 2016). A formulação do balanço hídrico entre disponibilidades e demandas, presente na Lei 9.433/97 – que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos – é um dos requisitos essenciais que permite retratar a situação atual da relação entre as variáveis comparadas, fornecendo subsídios para a tomada de decisões na gestão dos recursos hídricos. Esta mesma lei determina que, em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos deve ser destinado ao consumo humano e à dessedentação de animais.

2.2.1.1 Demanda Populacional

A caracterização populacional do município de Bujari é aspecto crucial para definição da demanda de água potável. O processo de levantamento do quantitativo de pessoas para o município se deu através de dados do Censo Demográfico do IBGE.

Conforme dados do IBGE (2022), cerca de 43% da população bujariense reside em zona urbana, dependendo totalmente do abastecimento de água do sistema de distribuição do Saneacre. Já os quase 57% que residem em zona rural possuem fonte alternativa de abastecimento de água. Contudo, este estudo considera a possibilidade de toda a população do município vir a ser atendida pelo sistema de abastecimento.

A projeção do crescimento populacional para o município de Bujari foi realizada através dos sistemas de projeção de crescimento aritmético ou linear (para uma situação mais favorável - menor consumo), do sistema de crescimento logístico (buscando uma estabilização do crescimento - saturação) e do sistema de projeção geométrica (para uma situação menos favorável - maior consumo), todos considerando uma taxa de densidade populacional entre 1200 e 3600 hab/km² para residências unifamiliares em lotes grandes, conforme Von Sperling (2011).

Os dados populacionais para as projeções são apresentados na sequência seguidos de suas fórmulas de cálculo:

Tabela 1 – Dados Censitários do Município de Bujari para a Projeção Populacional

Ano	Nomenclatura	População	Nomenclatura
2000	t_0	5.826	P_0
2010	t_1	8.471	P_1
2022	t_2	12.917	P_2

Fonte: Censo Demográfico (2000, 2010, 2022) – Elaborado pelo autor, 2024.

Método Aritmético:

$$P_t = P_2 + K_a(t - t_2) \quad (\text{Eq. 01})$$

Sendo: $k_a = \frac{P_2 - P_0}{t_2 - t_0} \quad (\text{Eq. 02})$

Método Geométrico:

$$P_t = P_2 e^{k_g(t-t_2)} \quad (\text{Eq. 03})$$

Sendo: $k_g = \frac{\ln(P_2) - \ln(P_0)}{t_2 - t_0} \quad (\text{Eq. 04})$

Método Logístico:

$$P_t = \frac{P_S}{1 + c e^{k_1(t-t_0)}} \quad (\text{Eq. 05})$$

$$k_1 = \frac{1}{t_3 - t_1} \ln \left(\frac{P_0(P_S - P_1)}{P_1(P_S - P_0)} \right) \quad (\text{Eq. 07})$$

Sendo: $P_S = \frac{2 P_0 P_1 P_3 - P_1^2 (P_0 + P_3)}{P_0 P_3 - P_1^2} \quad (\text{Eq. 06})$

$$c = \frac{P_S - P_0}{P_0} \quad (\text{Eq. 08})$$

Onde:

- P_0, P_1, P_2 e P_3 – População nos tempos t_0, t_1, t_2 e t_3 ;
- P_t – População estimada no ano t ;
- P_S – População de saturação;
- k_a, k_g e c – Coeficientes.

Observa-se que, para elaboração da curva de crescimento logístico se faz necessário iguais intervalos de tempo. Logo, utilizou-se a curva linear e estabeleceu-se a população para o ano de 2020 (P_3 e t_3). Utilizando os anos de 2000, 2010 e 2020 projetou-se o crescimento populacional através da curva logística.

Para a quantificação da demanda do consumo populacional foi considerado o consumo médio diário de água por um indivíduo que, em projeto, é denominado comumente de Quota “Per Capita” (QPC) ou Consumo “Per Capita”, conforme preconizam Magalhães, Moreno e Galvão Jr. (2001). O Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento apontou o valor do consumo *per capita* de água para o município de Bujari em 144 l/hab/dia (SNIS, 2022).

2.2.1.2 Demanda Aeroportuária

Para o cálculo da demanda hídrica do aeroporto, foi considerado o movimento anual do Aeroporto Internacional de Rio Branco, conforme os dados disponíveis no Anuário Estatístico Operacional publicado pela Infraero até 2019, abrangendo o período de 2014 a 2018. Como o aeroporto foi privatizado em 2021, tais dados passaram a ser responsabilidade da atual operadora que, mesmo após diversas abordagens e solicitações, não os disponibilizou para este trabalho. Também não se encontrou dados consolidados recentes publicizados pela concessionária, exceto através de reportagens do site de notícias G1, apresentando um quantitativo do movimento anual para os anos de 2019, 2021 e 2022, que afirmam ter sido disponibilizados pela operadora do

aeroporto. Sobre o movimento registrado nos aeroportos, é importante destacar que os dados divulgados correspondem ao fluxo total anual. Para fins de cálculo, foi necessário tratar esses dados para obter os valores diários do movimento. Para esse fim, considerou-se o ano com 360 dias.

Tabela 2 – Dados do Movimento Medido para o Aeroporto Placido de Castro

Ano	Movimento Medido (Anual)	Movimento Medido (Diário)
2014	391038	1086
2015	387071	1075
2016	354249	984
2017	345079	959
2018	308721	858
2019	350000	972
2021	259300	720
2022	393000	1092

Fonte: Infraero (2019); G1 (2023) – Elaborado pelo autor, 2024.

A partir desses dados, estimou-se a população usuária do aeroporto para os anos analisados. Observou-se uma redução no número de passageiros de 2014 a 2018, conforme registrado pela Infraero (2019), atribuída à recessão econômica que afetou o Brasil no período, como relatado pelo Jornal Estado de Minas (2018). Os dados fornecidos por Lebre (2023) indicam um aumento no número de passageiros em 2019, seguido de uma queda em 2021, reflexo da pandemia de Covid-19, e um aumento posterior em 2022. No entanto, o número de passageiros em 2022 ainda não superou o movimento de 2014.

Diante desse cenário, foi estabelecida uma curva de projeção que reflete essa tendência, mas com um crescimento anual fixo de 1,01% a partir de 2022, visando projetar um aumento futuro no número de passageiros. Esse percentual foi calculado com base na razão entre o crescimento populacional do estado do Acre, que foi de 13,2% entre 2010 e 2022, e o número de anos nesse período (Acre, [s.d.]).

Para a definição da demanda hídrica do aeroporto, foi considerado um consumo per capita de água de 15 litros por passageiro por dia (15l/pax/dia), com base no estudo de Von Sperling (2011). Este estudo estima que o consumo médio de água em aeroportos, necessário para atender tanto à demanda de passageiros quanto à manutenção, varia entre 8 e 15 l/dia por passageiro.

2.2.1.3 Demanda Total

No processo de abastecimento de água através de redes de distribuição, ocorrem perdas hídricas devido a diversas causas, como vazamentos, erros de medição e consumos não autorizados (Trata, 2024). No Brasil, cerca de 37,78% da água potável não chega oficialmente às residências, resultando em um desperdício equivalente ao volume de mais de 7,4 mil piscinas olímpicas de água tratada diariamente (Trata, 2024).

Para que seja atendida a quantidade *per capita* a ser consumida pela população somada a demandada pelo aeroporto, a produção deve ser em maior quantidade pois deve-se considerar a água perdida no sistema de distribuição. Considerando os valores de perdas na distribuição para o Município de Bujari, que chegam a 78,76%, é notório um grande problema no sistema de abastecimento, o que provoca um aumento na captação de água com o fim de garantir que esta chegue ao consumidor final em quantidade e qualidade suficiente para atender às suas necessidades (Tamwing, 2021). Dessa forma, cresceu-se o percentual de perdas às demandas estabelecidas anteriormente para o estabelecimento da demanda total.

Logo, a demanda total corresponde ao cálculo:

$$D = M \times P_m + A \times P_a \quad (\text{Eq. 09})$$

$$Q_t = 1,7876 \times D \quad (\text{Eq. 10})$$

Onde:

- Q_t – Demanda total;
- D – Demanda;
- M – Pop. do Município;
- P_m – Consumo per capita do município;
- A – Movimento do Aeroporto;
- P_a – Consumo per capita do aeroporto; 78,76% – Índice percentual de perdas na distribuição.

2.2.2 CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA

A caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica é um procedimento indispensável para conhecimento de sua dinâmica hidrológica. As informações quantitativas obtidas podem ser usadas para o planejamento e gerenciamento dos recursos naturais (Salis; Costa; Viana; Schuler, 2019). Por meio da caracterização morfométrica é possível realizar avaliações e diagnósticos prévios sobre potenciais e

limitações dos recursos hídricos, baseando-se nas características físicas da bacia hidrográfica (Villela; Mattos, 1975; Alves; Castro, 2003).

2.2.2.1 Bacia do Igarapé Redenção

Quanto a caracterização Morfométrica, o método aplicado consistiu numa descrição dos padrões físicos da bacia hidrográfica construída visualmente sobre as cartas cartográficas fornecidas pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente e das Políticas Indígenas através do programa de Zoneamento Ecológico e Econômico do Estado do Acre – ZEE-AC, elaboradas na escala 1:250.000 (Acre, 2010). Utilizou-se, para tal, o programa QGIS 3.34 Prizren (software com código-fonte aberto) para as devidas delimitações e cálculos da Bacia.

O foco desta descrição foi a Bacia do Igarapé Redenção, esta que compõe a Bacia do Rio Acre, onde tem seu exultório. Procedeu-se com a delimitação da Bacia, em escala 1:5000, aproximando visualmente seus limites dos divisores de água, como barragens e pontos de acumulação de água, alagados e açudes, e das redes de drenagem das bacias vizinhas à estudada, através da observação dos sistemas de drenagem natural perceptíveis no mapa com uso de máscara Google. Na sequência, calculou-se o perímetro e a área da bacia.

Seguiu-se com a “retificação” dos cursos d’água da Bacia do Igarapé Redenção que consistiu na aproximação da linha (*shapefile*) representativa do curso d’água existente ao real curso do rio ou rede de drenagem, diferença existente em função da alteração de escala das imagens, promovendo, dessa forma, aproximação à realidade. Ressalta-se que, dentre as partes mecânicas do trabalho, a retificação foi a que exigiu maior empenho e atenção pois é a que representa a condição real de drenagem e escoamento da bacia e estabelece os parâmetros que foram utilizados para os cálculos, como comprimento do rio principal, seu comprimento axial e o comprimento de seus afluentes. Nesta etapa, foi, também, realizada a inclusão de redes de drenagem ligadas ao rio principal, perceptíveis na escala trabalhada e não referenciadas pelo ZEE, com intuito de demonstrar o estado atual de condução das águas pluviais na bacia.

Realizados tais passos, pode-se calcular os parâmetros morfométricos, como fator de forma, coeficiente de compactidade, densidade de drenagem, sinuosidade, entre outros, além de se estabelecer o talvegue da Bacia e identificar a sua ordem.

Quanto a sua morfometria, foram investigados os parâmetros listados por Villela e Matthos (1975) no capítulo dois (Bacia Hidrográfica) do livro intitulado Hidrologia Aplicada, e no livro intitulado Geomorfologia, do autor Christofolletti (1980), quais sejam:

A área e o perímetro da bacia através do mapa produzido, levantando a informação da área submetida às chuvas locais e da delimitação de seu contorno e constatação de sua forma de maneira visual, se estabelecendo os divisores de água. Da extensão de seu rio principal e de seus afluentes, investigou-se o tempo devido para que uma gota de chuva dispensada no ponto mais distante da bacia chegue ao seu exultório, o que está relacionado as condições de cheias e alagações.

Estabelecida a forma da bacia que, em geral, apresenta a forma de leque ou pêra, os índices para caracterização e seus parâmetros foram os seguintes:

- Área (A) – A área de drenagem da bacia foi delimitada pelos divisores topográficos através de percepção visual, medida por projeção horizontal, através das cartas topográficas do ZEE, conforme Acre (2010). Calculou-se com uso do software QGIS.
- Perímetro (P) – O perímetro da bacia hidrográfica se deu por uma linha de separação estabelecida visualmente somada às referencias das demais redes de drenagem no ZEE que dividiu a água das chuvas que caem nas bacias adjacentes. Essa linha contorna o sistema fluvial dentro dela, atravessando exclusivamente no seu exultório. Calculou-se a com uso do software QGIS.
- Comprimento do rio principal (L_{RP}) – Foi calculada a distância percorrida pelo rio principal considerando todas as suas curvaturas perceptíveis à escala 1:5000, mantendo os critérios de bifurcação como rio principal aquele de maior extensão ou com maior número de afluentes. Calculou-se com uso do software QGIS.
- Comprimento dos rios afluentes (L_{RA}) – Somou-se o comprimento de todos os afluentes e subafluentes presentes na bacia. Calculou-se com uso do software QGIS.
- Comprimento total dos cursos d'água (L_{TR}) – Somou-se o comprimento do rio principal e de todos os seus afluentes e subafluentes, ou seja, comprimento de todas as redes de drenagem presentes na bacia que foram identificadas à escala 1:5000. Calculou-se com uso do software QGIS.
- Comprimento do Talvegue (L_t) – Mediu-se o comprimento do ponto mais distante e de menor ordem da rede, denominado nascente, até o ponto de desembocadura do rio principal, nominado exultório. Calculou-se com uso do software QGIS.
- Comprimento axial da bacia (L_A) – Mediu-se o comprimento linear do ponto médio do curso do rio principal. Calculou-se com uso do software QGIS.

- Coeficiente de Compacidade (kc) – É a razão entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual à da bacia.

$$kc = \frac{0,28P}{\sqrt{A}} e \begin{cases} 1,00 \leq kc \leq 1,25 \rightarrow \text{alta propensão à grandes enchentes} \\ 1,26 < kc \leq 1,50 \rightarrow \text{tendência mediana a grandes enchentes} \\ 1,50 < kc \rightarrow \text{bacia não sujeita a grandes enchentes} \end{cases} \quad (\text{Eq. 11})$$

- Fator de forma (K_f) – foi calculada a razão entre a largura média da bacia e seu comprimento axial.

$$K_f = \frac{A}{L_A^2} e \begin{cases} K_f \leq 0,50 \rightarrow \text{Não sujeito a enchentes} \\ 0,50 < K_f \leq 0,75 \rightarrow \text{Tendência mediana} \\ 0,75 < K_f \leq 1,00 \rightarrow \text{Sujeito a enchentes} \end{cases} \quad (\text{Eq. 12})$$

- Índice de circularidade (IC) – relacionou-se a área da bacia com a área de um círculo de perímetro igual ao da área da bacia.

$$IC = \frac{12,57A}{P^2}, \text{ Se } IC \text{ tende a } 1 \rightarrow \text{Bacia tende ao formato mais circular} \quad (\text{Eq. 13})$$

- Densidade de drenagem (D_d) – Reflete as condições topográficas, pedológicas, hidrológicas e de vegetação da bacia, sendo a razão entre o comprimento total dos canais e a área da bacia hidrográfica. Aplicou-se também aos rios principais e afluentes separadamente.

$$D_d = \frac{L_{TR}}{A} e \begin{cases} D_d \leq 5 \text{ km/km}^2 \rightarrow \text{Baixa densidade} \\ 5 \text{ km/km}^2 < D_d \leq 13 \text{ km/km}^2 \rightarrow \text{Média densidade} \\ 13 \text{ km/km}^2 < D_d \rightarrow \text{Alta densidade} \end{cases} \quad (\text{Eq. 14})$$

- Número de cursos d'água (N_n) – Define a quantidade de redes de drenagem existentes na bacia em função da sua ordem que está diretamente ligada à dimensão e quantidade de água escoada. Sempre que dois cursos de mesma ordem se encontram produzem um curso de ordem superior. No mapa da bacia é possível identificar a marcação da ordem de cada curso da rede de drenagem da bacia.
- Sinuosidade do curso principal (Sin) – Calculou-se a razão entre o comprimento do rio principal e o comprimento do talvegue. É um fator controlador da velocidade do escoamento, ou seja, quanto mais sinuoso menor será sua velocidade.

$$Sin = \frac{L_{RP}}{L_T} \quad (\text{Eq. 15})$$

- Extensão média do escoamento superficial (l) – Define a distância média em que a água da chuva teve que escoar sobre o terreno de uma bacia, caso o escoamento se desse em linha reta.

$$l = \frac{A}{4L_{TR}} \quad (\text{Eq. 16})$$

- Índice de sinuosidade (IS) – relação entre o comprimento do canal principal e a distância vetorial do canal principal. Este índice expressa a velocidade de escoamento do canal principal.

$$IS = 100 \frac{(L_{RP} - L_T)}{L_T} \quad (\text{Eq. 17})$$

- Relação de Bifurcação (R_b) – Calculou-se a razão entre o número total de segmentos de certa ordem e de seu sucessor. A relação final foi expressa como a média entre os resultados obtidos nas razões anteriores.
- Comprimento médio dos canais (L_{mc}) – Calculou-se a razão entre o comprimento de todos os canais e o número total de canais existentes na bacia.

$$L_{mc} = \frac{\sum L_{TR}}{\sum N_n} \quad (\text{Eq. 18})$$

2.2.2.2 Área de drenagem da Barragem

Estabeleceu-se a área de drenagem (A_D) da região da Bacia do Igarapé Redenção à montante do ponto de acumulação (barragem) onde ocorrem as extrações de água para o tratamento da ETA de Bujari. A delimitação da área foi realizada com uso do software QGis na escala 1:4500.

A delimitação desta área serviu como base para a compreensão do tempo de concentração da chuva, da extensão do rio principal (talvegue) dentro da região de acumulação e para o cálculo da disponibilidade hídrica da região.

Delimitou-se, também, o açude de acumulação junto à barragem com uso do software QGis. Assim, pode-se, por meio de partições da área do açude e da medição de sua cota em vários pontos, estabelecer sua profundidade média, aplicando uma média ponderada e determinando-se uma aproximação da capacidade volumétrica de reservação. Observa-se que a delimitação da área de acumulação do açude foi realizada sobre imagem disponibilizada pelo Google Satélite em período chuvoso, ou seja, projetando o açude cheio.

2.2.3 PROCESSOS PARA O ESTABELECIMENTO DA DISPONIBILIDADE

A cerca da caracterização do abastecimento do município de Bujari, levantou-se informações sobre a estação de tratamento de água do município, sobre a capacidade de fornecimento de água à montante do ponto de acumulação para a região do Igarapé Redenção, sobre o volume d'água extraído, o volume tratado e o volume distribuído.

2.2.3.1 Cálculo da Disponibilidade pelo Modelo Chuva-vazão

Conforme Luiz e Schröder (2020), modelos de chuva-vazão são utilizados para realizar simulações hidrológicas e para fornecer subsídios para a regionalização de vazões em bacias hidrográficas, uma vez que permitem a predição do regime fluvial. Estes modelos descrevem a relação entre a chuva e a vazão de uma bacia hidrográfica, quantificando a transformação da chuva em vazão de um curso de água (Scheidt, Brunetto; 2011).

A modelagem hidrológica é utilizada como ferramenta para a obtenção de um conhecimento mais aprofundado a respeito dos fenômenos físicos envolvidos e na previsão de cenários (Moraes, 2003). Dessa maneira, lança-se mão a tal modelagem em busca da quantificação de disponibilidade hídrica da região de acumulação da bacia do Igarapé Redenção pois, conforme afirmam Almeida e Serra (2017), esta modelagem pode ser utilizada quando da finalidade de previsão da recarga de reservatórios.

Dentro do ciclo hidrológico, como mostram Carvalho e Silva (2006), ao ocorrer uma precipitação (excetuando-se as perdas por radiação solar e evapotranspiração neste trabalho), parte do volume precipitado se infiltra no solo atingindo uma zona saturada, formando o “lençol freático” enquanto outra parte do volume forma uma lâmina d’água sobre a superfície. O volume que escoar sobre a superfície é denominado de escoamento superficial, responsável pela chamada vazão de cheia, enquanto a parte que se infiltra recebe o nome de escoamento subterrâneo, também chamada de vazão de base.

Segundo Santos (2009), os modelos hidrológicos visam fundamentalmente a obtenção do hidrograma de cheia na saída do exutório de uma bacia, ou seja, da máxima vazão, ou vazão de projeto, que é dada pela soma das vazões de cheia e de base. Contudo, este estudo interessa-se pela vazão de base, responsável pela alimentação do curso d’água durante o período de estiagem. Dessa maneira, utiliza-se desse método, mas sob considerações de intensidades de chuvas menores e com menor tempo de recorrência, buscando compreender a vazão de permanência do curso do igarapé Redenção ao longo do ano.

Assim, aplicou-se o método de I Pai Wu, método desenvolvido em 1963 que consiste em um aprimoramento do método Racional, pois adiciona considerações sobre o armazenamento da bacia, sua forma e sobre a distribuição espacial da chuva incidente (São Paulo, 1999; Macedo, 2021). Este método pode ser aplicado a áreas entre 2 km² e 200 km², conforme Carvalho e Silva (2006). Estudos mais recentes, como Macedo

(2021), apontam que o método de I Pai Wu apresenta resultados mais efetivos se limitados a uma área máxima de 45 km².

No método de I Pai Wu, o cálculo da vazão se dá por meio da Equação 19 (São Paulo, 1999) na qual Q_c é a vazão de pico ou de cheia, em m³/s, C é o coeficiente de escoamento superficial, i é a intensidade média da precipitação (mm/h), A_D é área de drenagem da região a montante do barramento da bacia (km²) e k é o coeficiente de distribuição espacial da chuva (Macedo, 2021).

$$Q_c = 0,278 \times C \times i \times A_D^{0,9} \times k \quad (\text{Eq. 19})$$

Os principais fatores intervenientes para a aplicação do método são:

- Área de Drenagem ou Área de Contribuição (A_D) – Conforme São Paulo (2005), é a região de captação natural da água de precipitação que faz convergir os escoamentos superficiais e subsuperficiais para um único ponto de saída. A área de contribuição considerada neste estudo corresponde à da região de acumulação da bacia, obtida com uso do software QGIS.
- Comprimento do rio principal ou Talvegue (L) – O comprimento do curso d'água do seu ponto mais distante ao seu exultório, aqui considerado como o açude no barramento da ETA de Bujari. Obteve-se com uso do software QGIS.
- Desnível da bacia (Δh) – Corresponde à diferença de cotas do terreno na região de drenagem, obtido pela diferença entre as cotas de crista e de base extraídas do modelo digital de elevação (MDE) disponibilizado pela NASA (c2024) <<https://www.earthdata.nasa.gov/>>, por meio do software QGIS.
- Tempo de concentração (t_c) – O tempo de concentração, conforme Gouvêa (2015), refere-se ao tempo necessário para a água ir do ponto mais distante da bacia até o ponto de projeto. É o tempo a partir do qual toda a bacia contribuirá com a vazão.

$$t_c = 57 \times \left(\frac{L^3}{\Delta h} \right)^{0,385} \quad (\text{Eq. 20})$$

- Intensidade de chuva crítica (i) – Equação que relaciona as grandezas intensidade-duração-frequência para regiões que dispõem de séries de dados de chuvas. Para determinação da disponibilidade se fez necessário adaptar o método de I Pai Wu utilizando-se as intensidades de chuvas médias mensais para a região, com vistas a compreender a variação do volume de água em intervalos curtos. Portanto, considerou-se os dados de precipitação disponibilizados por Sousa (2020) no estudo das “Características climáticas do município de Rio Branco, Acre, período de 1990-2019”.

Figura 04 – Precipitações médias mensais-PMM, desvio padrão-DP, menor média mensal da série de dados-mMMSD e maior média mensal da série de dados-MMMSD (mm), Rio Branco, Acre, 1990-2019

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
PMM	286	298	292	204	96	45	29	58	95	147	214	260
DP	97	82	98	87	44	40	24	40	58	57	74	80
mMMSD	96	176	104	44	19	2	0	0	23	36	92	126
Ano	2016	2011	2018	2010	1998	2016	1997	2005	2005	2003	1992	1995
MMMSD	512	468	475	441	206	182	95	132	237	266	379	425
Ano	2014	2018	1997	2009	2014	2012	2019	2009	1991	1998	2019	2019

Fonte: Sousa (2020).

Assim, dividindo-se a intensidade de chuva média mensal (mm) pelo produto do número de dias do mês (30 dias) e o número de horas do dia (24 horas), pode-se determinar a intensidade de chuva média horária (mm/h) para aplicação no cálculo da vazão.

Gráfico 01 – Intensidade das Precipitações Médias Horárias



Fonte: Elaborado a partir de Souza (2020), 2024.

- Fator de forma (F) – Conforme São Paulo (1999), mede a taxa de alongamento da bacia, ou seja, indica se a bacia possui uma área de drenagem mais alongada ($F > 1$) ou mais arredondada ($F < 1$).

$$F = \frac{L}{2x\left(\frac{A}{\pi}\right)^{0,5}} \quad (Eq. 21)$$

- Coeficiente de forma da bacia (C_1) – Baseado no fator de forma é um coeficiente que considera a forma da bacia no tempo de concentração da bacia.

$$C_1 = \frac{4}{(2+F)} \quad (Eq. 22)$$

- Coeficiente volumétrico do escoamento (C_2) – Representativo do uso do solo (Runoff).

Figura 05 – Valores Recomendados para o Coeficiente C_2

Telhados perfeitos sem fuga	0.70 a 0.95
Superfícies asfaltadas em bom estado	0.85 a 0.90
Pavimentação de paralelepípedos, ladrilhos ou blocos de madeira com juntas bem tomadas	0.70 a 0.85
Para as superfícies anteriores sem as juntas tomadas	0.50 a 0.70
Pavimentação de blocos inferiores sem as juntas tomadas	0.40 a 0.50
Estradas macadamizadas	0.25 a 0.60
Estradas e passeios de pedregulho	0.15 a 0.30
Superfícies não revestidas, pátios de estradas de ferro e Terrenos descampados	0.10 a 0.30
Parques, jardins, gramados e campinas, dependendo da declividade do solo e da natureza do subsolo	0.01 a 0.20

Fonte: Villela e Mattos (1975).

Como a região apresenta pontos de mata e de campos não urbanizados, considerou-se $0,01 \leq C_2 \leq 0,20$, sendo aplicada uma correlação de capacidade de infiltração com a intensidade de chuva, tomando 0,01 para a menor incidência de chuva (correspondente ao período de estiagem onde pouca água irá se infiltrar no solo) e 0,20 para a maior incidência de chuva (quando haverá maior infiltração devido à maior quantidade de chuva), calculando-se os demais valores para o intervalo anual. Chegou-se à equação seguinte para determinação dos valores:

$$C_2(t) = 0,0007 t - 0,0105 \quad \{\forall t \in \mathbb{R} \mid 0,01 \leq t \leq 0,20\} \quad (Eq. 23)$$

Tabela 3 – Valores Determinados para o Coeficiente C_2 para cada Mês

Mês	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Int. de chuva (t) (mm)	286	298	292	204	96	45	29	58	95	147	214	260
C_2	0,19	0,20	0,20	0,13	0,06	0,02	0,01	0,03	0,06	0,09	0,14	0,17

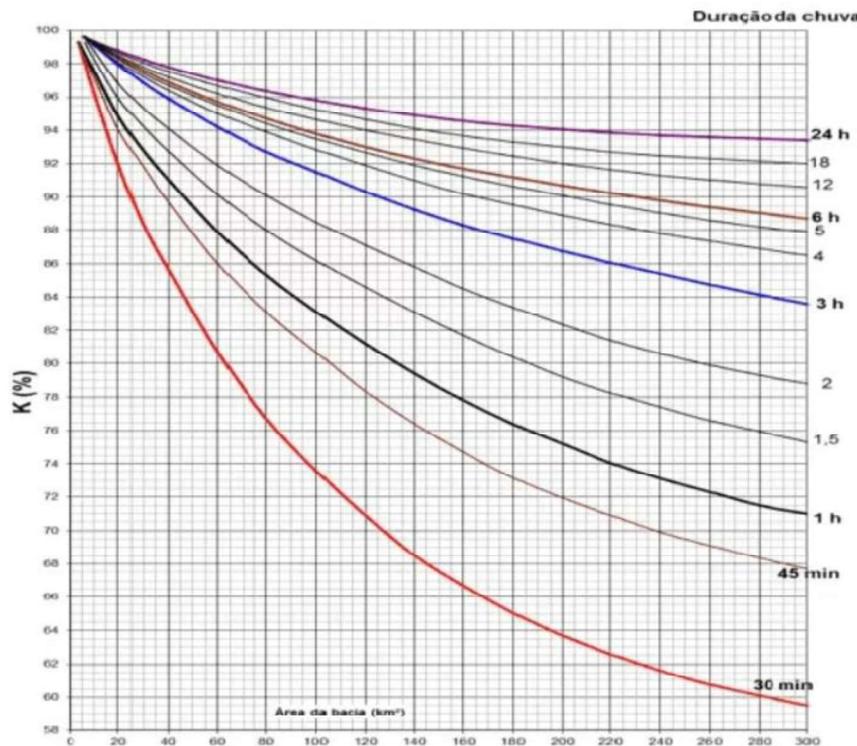
Fonte: Elaborado a partir de Villela e Mattos (1975), 2024.

- Coeficiente de escoamento superficial (C) - Faz referência ao volume que será escoado superficialmente em função da maior ou menor facilidade de infiltração da água no solo. Quanto menor a possibilidade de a água precipitada infiltrar-se no solo, maior será o escoamento superficial direto, resultando em um valor mais elevado para o coeficiente C (Gouvêa, 2015).

$$C = \frac{2}{(1+F)} \times \frac{C_2}{C_1} \quad (Eq. 24)$$

- Coeficiente de distribuição espacial da chuva (k) – Faz referência a não incidência das chuvas sobre toda área de drenagem da bacia. Para tal, utilizou-se o gráfico do US Weather Bureau (ASCE, 1997; Josa *et al.* 2020).

Figura 06 – Coeficiente de distribuição espacial da chuva k



Fonte: ASCE, (1997); JOSA. *et al.* (2020).

- Vazão de base (Q_b) – Vazão existente nos poros do solo formando o lençol freático responsável pelo abastecimento do curso d'água durante o período de estiagem.

$$Q_b = 10\% \times Q_c \quad (Eq. 25)$$

2.2.3.2 Vazão Outorgável

Conforme Cararo e Zuffo (2021), o Acre possui uma câmara técnica em caráter permanente, ligada ao Conselho Estadual de Meio Ambiente, Ciência e Tecnologia (Cemact) e um Plano Estadual de Recursos Hídricos (PLERH), lançado em 2012. A Resolução CEMACT nº 4 de 17/08/2010 é que regulamenta a concessão de outorga provisória e de direito de uso dos recursos hídricos no Estado do Acre. Em seu artigo 4º tal resolução trás que compete ao IMAC a emissão de outorgas preventiva e de direito de uso de recursos hídricos de domínio do Estado do Acre.

Dessa maneira, compete ao IMAC a análise dos pedidos de outorga de extração d'água bem como do estudo da disponibilidade hídrica da bacia. Para o cálculo da disponibilidade hídrica outorgável, este Instituto segue o Plano Estadual de Recursos Hídricos, sendo que o último sugere o uso do cálculo estabelecido pela Agência Nacional de Águas (ANA), ou seja, a outorga máxima de 70% da Q_{95} (mesmo índice considerado para cursos d'água de competência federal) (Acre, 2012).

No contexto de avaliação do potencial de desenvolvimento nas UGRHs frente ao cenário atual de disponibilidade hídrica é interessante avaliar também o balanço hídrico no período mais crítico do ano, ou seja, o semestre seco (compreendido entre junho e novembro) (Acre, 2012). Como este estudo se atem às vazões advindas das precipitações, aplicar-se-á o coeficiente de outorga na vazão de cheia para os períodos chuvosos e na vazão de base, responsável pela manutenção dos fluxos d'água no período seco.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos, conforme a metodologia apresentada, são inicialmente expostos de forma separada e na ordem proposta. Posteriormente, são discutidos em conjunto para proporcionar uma análise integrada.

2.3.1 QUANTIFICAÇÃO DA DEMANDA

Para a quantificação da demanda de água, em consumo atual e futuro, para o município de Bujari, tem-se a projeção do quantitativo populacional conforme pode ser visto na Tabela 04.

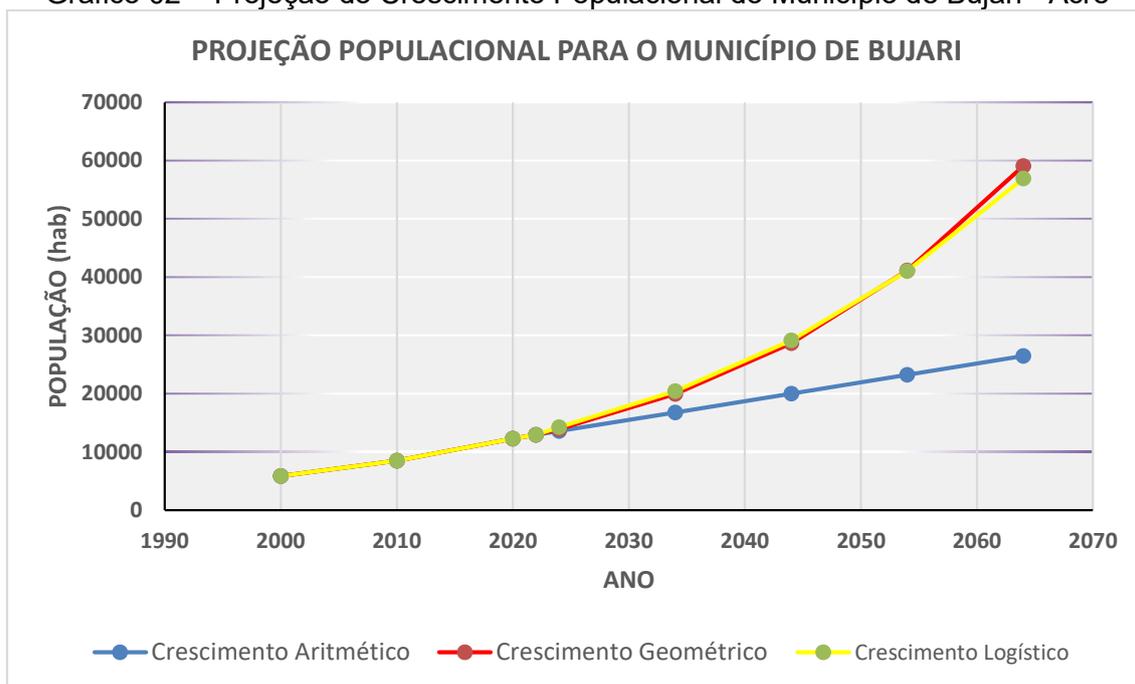
Tabela 4 – Projeção do Crescimento Populacional do Município de Bujari - Acre

Nomenclatura	Ano	População Medida (Censo)	População Estimada		
			Aritmética	Geométrica	Logística
P ₀	2000	5826	-	-	-
P ₁	2010	8471	-	-	-
P ₃	2020	-	12272	-	-
P ₂	2022	12917	-	-	-
-	2024	-	13562	13887	14214
-	2034	-	16785	19942	20431
-	2044	-	20008	28639	29119
-	2055	-	23231	41127	41019
-	2064	-	26454	59062	56877

Fonte: O Autor, 2024.

Observa-se que, para a curva de crescimento logístico, é necessário que os intervalos de tempo sejam iguais. Por essa razão, utilizou-se a curva linear para determinar a população estimada para o ano de 2020. Utilizando os anos de 2000, 2010 e 2020, projetou-se o crescimento populacional através da curva logística. Obteve-se uma curva semelhante à da projeção geométrica, com valores populacionais bem distantes do ponto de saturação. Portanto, optou-se por desconsiderar o resultado da projeção logística devido à sua complexidade de cálculo, preferindo-se a projeção geométrica, que é mais prática e fornece resultados comparáveis.

Gráfico 02 – Projeção do Crescimento Populacional do Município de Bujari - Acre



Fonte: O Autor, 2024.

Os resultados apresentados para o ano de 2024 mostram valores semelhantes, mas começam a divergir gradualmente com o passar dos anos, delineando dois cenários diferentes para a projeção populacional.

Para a quantificação da demanda de água, em consumo atual e futuro, para o Aeroporto de Rio Branco, tem-se a projeção do movimento populacional conforme pode ser visto na Tabela 05.

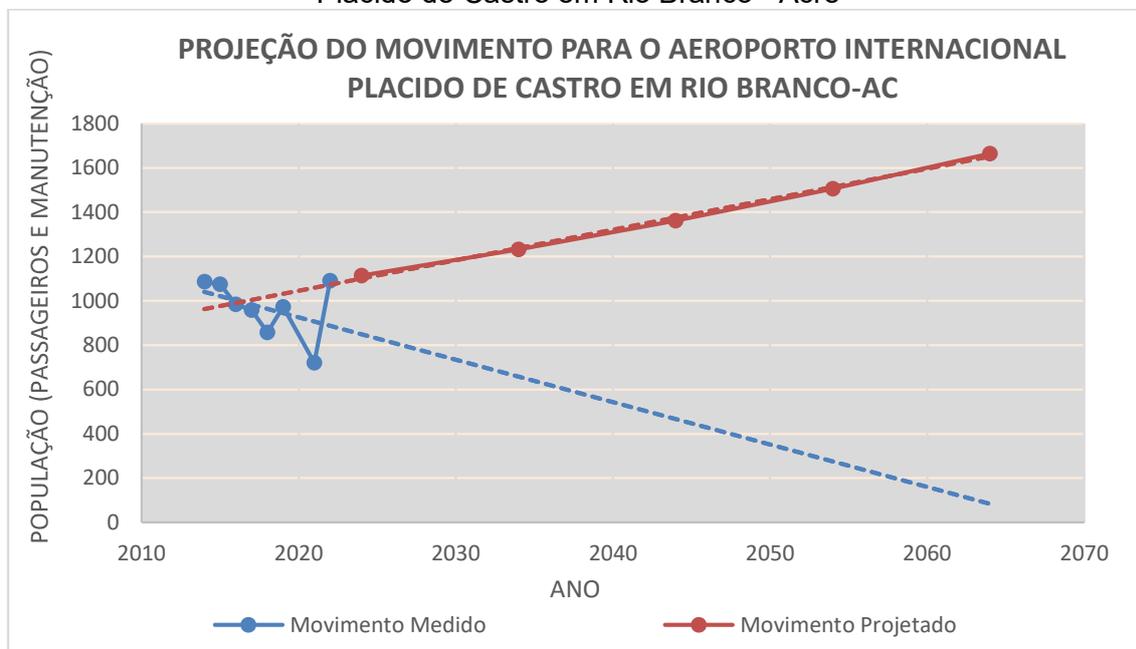
Tabela 5 – Projeção do Crescimento do Movimento para o Aeroporto Internacional Placido de Castro em Rio Branco - Acre

Ano	Movimento Medido (Diário)	Movimento Estimado (Diário)
2014	1086	-
2015	1075	-
2016	984	-
2017	959	-
2018	858	-
2019	972	-
2021	720	-
2022	1092	-
2024	-	1114
2034	-	1232
2044	-	1362
2054	-	1506
2064	-	1665

Fonte: O Autor, 2024.

Pode-se, também, perceber a projeção do movimento medido através do Gráfico 03 abaixo, indicando as curvas de crescimento do movimento medido e do movimento estimado.

Gráfico 03 – Projeção do Crescimento do Movimento para o Aeroporto Internacional Placido de Castro em Rio Branco - Acre



Fonte: O Autor, 2024.

O Gráfico 03 apresenta as projeções de crescimento dos dados disponíveis, destacando duas abordagens: uma que considera o crescimento populacional do estado do Acre e outra que o desconsidera. As curvas ilustram uma redução no movimento projetado para o aeroporto, evidenciando uma tendência de queda futura que levou à exclusão da análise

Com base nos dados de consumo per capita previamente estabelecidos, é possível definir a demanda atual e futura por água tratada para a Estação de Tratamento de Água (ETA) do Município de Bujari, conforme as tabelas a seguir.

Tabela 6 – Demanda Aritmética por Água para a ETA do Município de Bujari – Acre

Demanda Aritmética							
Ano	População Município (hab) (M)	Per capita (l/hab/dia) (P_m)	População Aeroporto (pax) (A)	Per capita (l/pax/dia) (P_a)	Demanda (l/dia) (D)	Demanda (l/s) (D)	Demanda total (l/s) (Q_t)
2024	13562		1114		1969583	22,8	40,8
2034	16785		1232		2435488	28,2	50,4
2044	20008	144	1362	15	2901579	33,6	60,0
2054	23231		1506		3367876	39,0	69,7
2064	26454		1665		3834402	44,4	79,3

Fonte: O Autor, 2024.

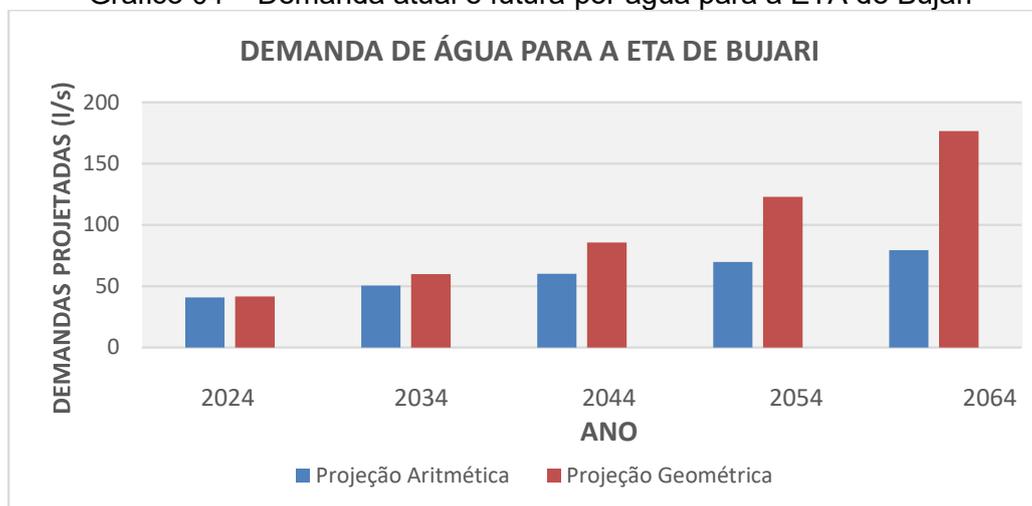
Tabela 7 – Demanda Geométrica por Água para a ETA do Município de Bujari – Acre

Demanda Geométrica							
Ano	População Município (hab) (M)	Per capita (l/hab/dia) (P_m)	População Aeroporto (pax) (A)	Per capita (l/pax/dia) (P_a)	Demanda (l/dia) (D)	Demanda (l/s) (D)	Demanda total (l/s) (Q_t)
2024	13887		1114		2016384	23,3	41,7
2034	19942		1232		2890163	33,5	59,8
2044	28639	144	1362	15	4144395	48,0	85,7
2054	41127		1506		5944923	68,8	123,0
2064	59062		1665		8529908	98,7	176,5

Fonte: O Autor, 2024.

Portanto, tense que a demanda atual está em torno de 41,0 l/s e a demanda futura, em uma situação favorável será de 79,0 l/s enquanto para uma situação menos favorável poderá chegar a quase 177,0 l/s.

Gráfico 04 – Demanda atual e futura por água para a ETA de Bujari



Fonte: O Autor, 2024.

É importante destacar que o processo de definição da demanda, ainda que considere três métodos de design, reflete um cenário conservador. Isso ocorre porque não se prevê uma redução nas perdas ao longo dos anos analisados, mantendo-se as condições atuais aplicadas.

2.3.2 CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO IGARAPÉ REDENÇÃO

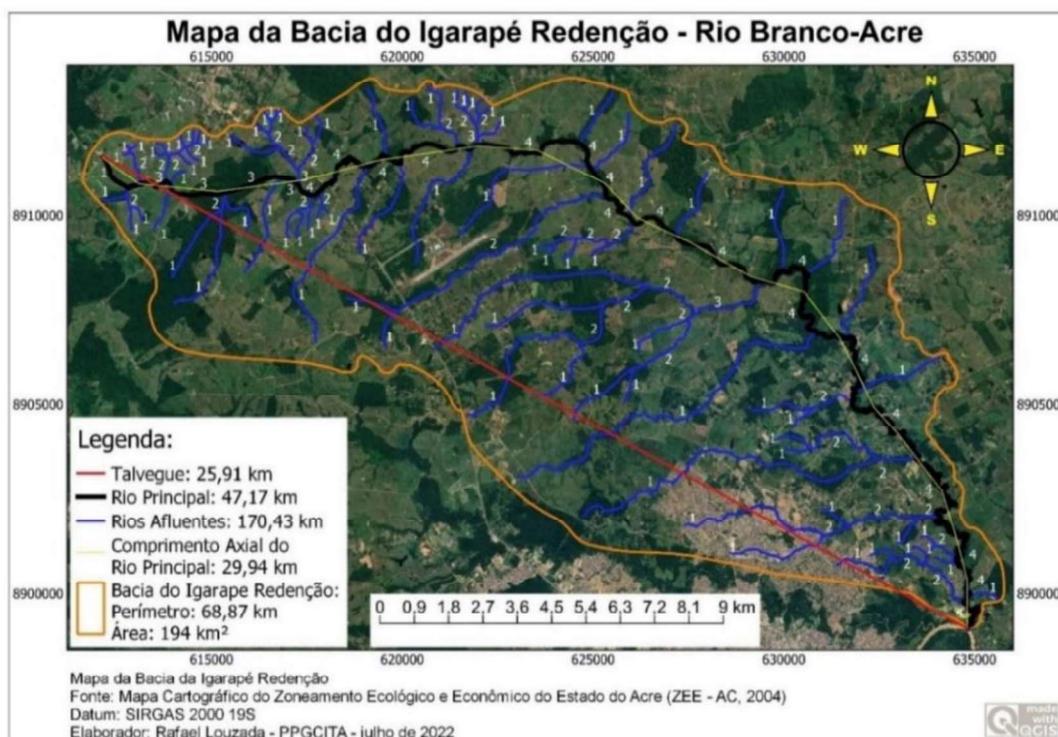
A Bacia do Igarapé Redenção faz parte da Amazonia Sul Ocidental, sendo uma sub-bacia da Bacia do Rio Acre, principal rio do município de Rio Branco e responsável pelo abastecimento de água da capital. A bacia está localizada na faixa 19S do Datum SIRGAS 2000 entre - 9° e - 10° Sul.

A geomorfologia da bacia apresenta um conjunto de formas de relevo de topos convexos, esculpidas em rochas sedimentares, às vezes com controle estrutural. A bacia é definida por vales pouco profundos, com vertentes de declividade suave, entalhadas por sulcos e cabeceiras de drenagem de primeira ordem.

O Igarapé Redenção é um dos poucos cursos d'água que estão sob total jurisdição do Estado do Acre onde tem sua nascente e sua jusante, sendo, então, o Estado o responsável pela outorga de uso de suas águas. Em contato com o Instituto de Meio Ambiente do Acre – IMAC, levantou-se que o processo de outorga de retirada de água do Igarapé Redenção para fins de abastecimento público está em análise técnica, sendo que toda água colhida até o momento ocorreu de maneira irregular. “Na bacia hidrográfica do Igarapé Redenção, predomina-se a ocupação de pastagens (70,2% dos bacia), seguida por densa cobertura vegetal (15,1%) e ocupação urbana (14,7%)”, conforme Araújo, Medeiros e Serrano, 2022.

Baseado nas cartas do Zoneamento Ecológico e Econômico do Estado do Acre, produziu-se o mapa da bacia, conforme Figura 07 a seguir:

Figura 07 – Mapa da Bacia do Igarapé Redenção – Rio Branco-Acre



Fonte: O autor, 2024.

Apresenta-se, a seguir, os índices morfométricos da bacia do Ig. Redenção:

Quadro 2 – Resumo das Características Morfométrica da Bacia do Igarapé Redenção, Rio Branco – Acre

Ordem	Elemento	Dimensão
a	Perímetro da bacia (P)	68,87 km
b	Área da bacia (A)	194,00 km ²
c_1	Comprimento do rio principal (L_{RP})	47,17 km
c_2	Comprimento dos rios Afluentes (L_{RA})	170,43 km
d	Comprimento total dos cursos d'água (L_{TR})	217,60 km
e	Comprimento do Talvegue (L_t)	25,91 km
f	Comprimento axial da bacia (L_A)	29,94 km
g	Coefficiente de Compacidade (kc)	1,38
h	Fator de Forma (K_f)	0,22
i	Índice de circularidade (IC)	0,51
j_1	Densidade de drenagem (Dd)	1,12 km/km ²
j_2	Densidade de drenagem do Rio Principal (Dd1)	0,24 km/km ²
j_3	Densidade de drenagem dos Rios Afluentes (Dd2)	0,88 km/km ²
k	Número de cursos d'água (N_n)	110
l	Sinuosidade do curso principal (Sin)	1,82 km/km
m	Extensão média do escoamento superficial (l)	0,22 km
n	Relação de Bifurcação (Rb)	4,42
t	Comprimento médio dos canais (L_{mc})	1,98 km

Fonte: O autor, 2024

Em relação à sua dimensão, a bacia apresentou uma área 194 km², não sendo uma bacia de grandes dimensões quando comparada a outras do estado como a bacia do Igarapé São Francisco ou, ainda, a bacia do Rio Acre, sendo, esta última, uma bacia de cobertura internacional e da qual O Igarapé Redenção é afluente. Conseqüentemente seu rio principal não apresenta grande extensão quando comparado com outros rios do estado, contudo, comparando-se sua extensão dentro da bacia é possível perceber que assume mais de 50% do valor do perímetro da bacia, e possui uma sinuosidade de 1,82 km/km, o que equivaleria a mais que uma extensão e meia de rio principal dentro da bacia, conforme demonstra o índice de sinuosidade em mais 80%.

Na análise da forma superficial, importante para se definir o tempo de concentração da bacia, obteve-se o valor de 1,38 para o coeficiente de compacidade, indicando uma bacia não circular, perceptivelmente condizente com a imagem de uma pena, indicando tendência mediana à ocorrência de enchentes, o que não a impede de acontecer. Quanto ao fator de forma, obteve-se o valor de 0,22 o que indica uma bacia com características não tão estreita e longa, confirmando a menor tendência para enchentes que outras de mesmo tamanho, porém com maior fator de forma. Pode-se notar através do mapa os vários pontos de contribuição ao longo do extenso curso do rio principal, evitando o acúmulo acelerado de água e a ocorrência de enchentes.

Quanto a classificação do sistema de drenagem, obteve-se a ordem máxima de número 4, contando com 110 cursos d'água e índice 4,42 de relação de bifurcação. É notório que a maioria dos cursos são de ordem 1, possuindo características de escoamento efêmeros a um máximo intermitente em função da elevada extensão média de escoamento superficial de 220 m, reforçados, ainda, com o baixíssimo índice de densidade de drenagem da ordem de 0,85 km/km² para toda a bacia. Se comparado ao tipo de solo argiloso de baixa absorção e com pouca profundidade, conforme visto anteriormente, entende-se a formação da lâmina d'água e seu escoamento criando redes de drenagem efêmeras.

Apesar de ser uma bacia menos arredondada, com seus já citados 47,17 km de extensão do rio principal, apresentou apenas 25,91 km de talvegue e 29,94 km de comprimento axial, demonstrando como característica a presença de muitas curvas classificando o canal fluvial como do tipo meandrante.

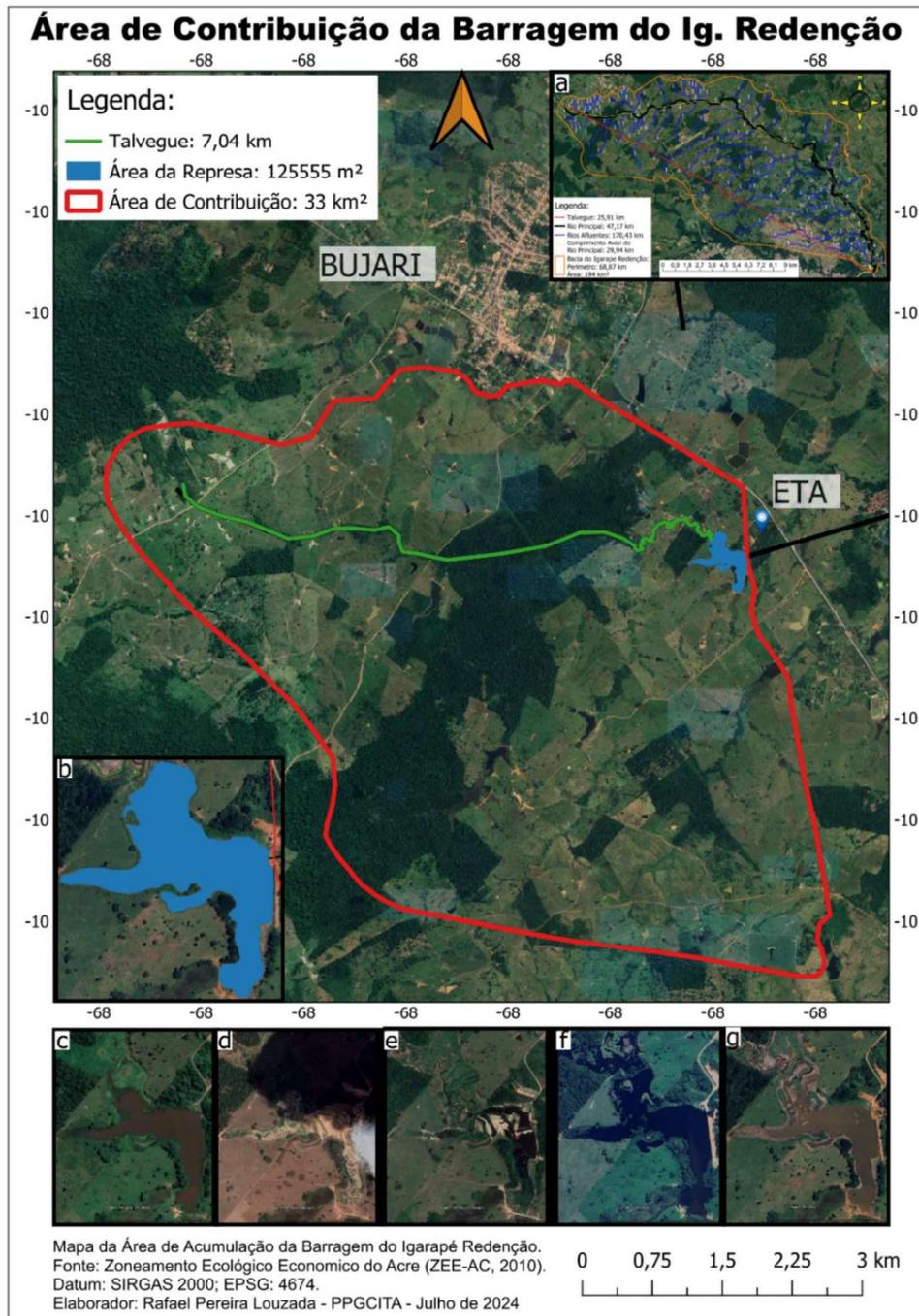
2.3.2.1 Caracterização Morfométrica da Área de acumulação da Barragem da Bacia do Igarapé Redenção

Para a área de acumulação do açude onde se faz a extração de água da Bacia do Igarapé Redenção obteve-se o mapa da Figura 08.

Observa-se que a região de drenagem até o represamento apresenta área de 33 km² e declividade média de 23 metros. O açude apresenta área superficial de 125555 m², equivalendo a menos de 0,5% da área de drenagem. Sua profundidade média é de 2,04m, gerando uma possibilidade de reservação de 256132,2 m³ de água. Através dos registros fotográficos de satélite é possível perceber a ampla variação volumétrica na quantidade de água disponível ao longo dos meses do ano.

O solo argiloso de baixa infiltração apresenta cobertura vegetal com presença de mata e pastos, sem habitações. O curso d'água principal é bastante sinuoso e é alimentado por diversos canais efêmeros.

Figura 08 – Mapa da Área de Contribuição da Represa da Bacia do Igarapé Redenção em Rio Branco-Acre



Sobre a Imagem: a – Bacia do Igarapé Redenção; b – Represa para acumulação e extração de água; Imagens de satélite da Represa: c – julho de 2021; d – outubro de 2022; e – dezembro de 2022; f – junho 2023; g – março de 2024.

Fonte: Os autores, 2024.

2.3.3 QUANTIFICAÇÃO DA DISPONIBILIDADE

Com os relatórios de vistoria produzidos pela AGEAC no ano de 2022 apontando diversos problemas no sistema de tratamento de água da ETA de Bujari, o SANEACRE produziu um memorial propondo melhorias para a estação que incluem a instalação de

nova ETA compacta com capacidade para fornecimento de 60 l/s de água tratada além de reformas pontuais no sistema, como a troca de bombas, capina do terreno, pintura do escritório, depósito e casa de bombas bem como o cercamento do local. Estes serviços foram iniciados em 2024, conforme planejado pela Autarquia.

Para a quantificação da disponibilidade de água pelo modelo chuva-vazão foi aplicada uma adaptação do método I Pai Wu que apresentou os seguintes resultados:

Quadro 3 – Determinação da Vazão de Outorga para a Região de Acumulação da Barragem da Bacia do Igarapé Redenção em Rio Branco – Acre.

Q_c (m ³ /s)	0,35	0,38	0,37	0,18	0,04	0,01	0,002	0,01	0,03	0,09	0,19	0,29
Q_c (l/s)	353	384	368	175	35,5	6,2	1,9	11,4	34,7	88,4	194	290
Q_b (l/s)	35,3	38,4	36,8	17,5	3,55	0,62	0,19	1,14	3,47	8,84	19,4	29,0
70% Q_b (l/s)	24,7	26,9	25,8	12,3	2,48	0,43	0,13	0,80	2,43	6,19	13,6	20,3

Fonte: O autor, 2024.

De posse da vazão de cheia e conhecendo o volume do açude reservatório na barragem, pode-se verificar o fluxo do consumo d'água dentro do montante outorgável e constatar se haverá disponibilidade suficiente para suprir a demanda mês a mês. Esta verificação foi realizada para o ano de 2024 considerando uma demanda de 41 l/s e o volume máximo outorgável do reservatório de 179379 m³.

Tabela 8 – Fluxo do Consumo de Água no Barramento do Igarapé Redenção.

Mês	Entrada (m ³ /s)	Entrada (m ³ /mês)	Demanda (2024) (m ³ /mês)	Diferença (m ³)	Vol. Inicial do Açude (m ³)	Vol. Final do Açude (m ³)
Jan	0,35	907200	106272	800928	179379	179379
Fev	0,38	984960	106272	878688	179379	179379
Mar	0,37	959040	106272	852768	179379	179379
Abr	0,18	466560	106272	360288	179379	179379
Mai	0,04	103680	106272	-2592	179379	176787
Jun	0,01	25920	106272	-80352	176787	96435
Jul	0,002	5184	106272	-101088	96435	0
Ago	0,01	25920	106272	-80352	0	0
Set	0,03	77760	106272	-28512	0	0
Out	0,09	233280	106272	127008	0	127008
Nov	0,19	492480	106272	386208	127008	179379
Dez	0,29	751680	106272	645408	179379	179379

Fonte: O autor, 2024.

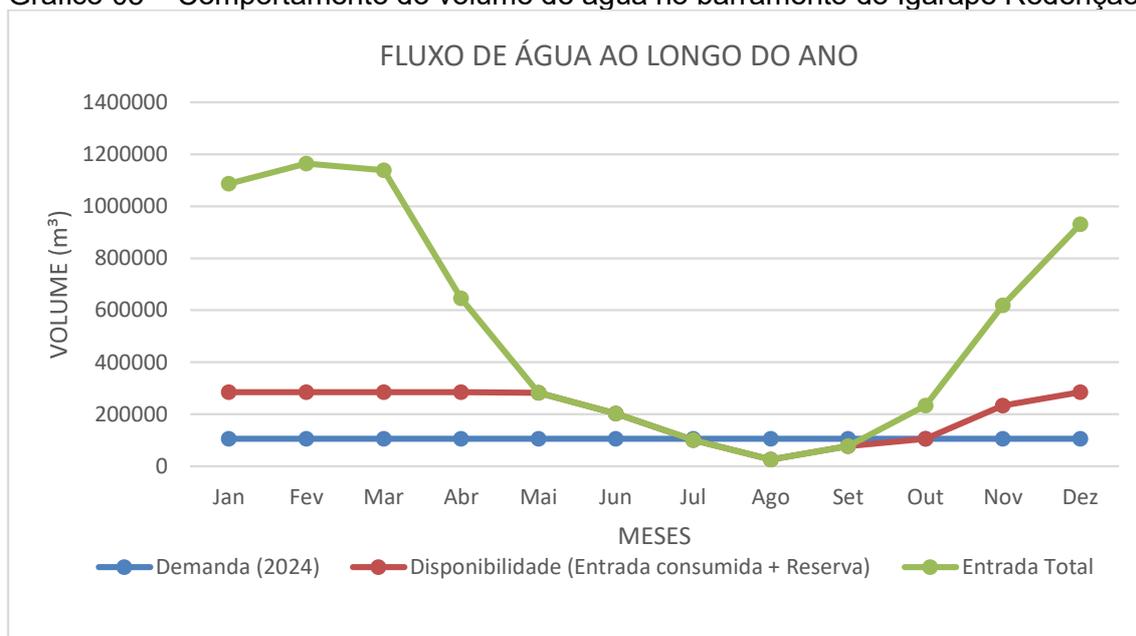
Assim, percebe-se que entre os meses de novembro e abril o reservatório permanece sempre cheio, visto que a vazão de cheia promove uma entrada superior ao demandado, suprimindo o requisitado, alimentando o reservatório e escoando o excesso

acima do volume de reservação. A partir do mês de maio o quantitativo de entrada se torna inferior à demanda, sendo necessário o consumo do volume reservado para o atendimento da demanda. A entrada de água segue inferior à demanda até o mês de setembro (mesmo considerando a vazão de cheia e não apenas a vazão de base, muito inferior a anterior). Assim, os meses de julho, agosto e setembro são passíveis de falta d'água, deixando em descoberto as necessidades da população do município de Bujari e do Aeroporto Internacional de Rio Branco.

Dessa maneira, nos anos vindouros a demanda tende a aumentar, como já demonstrado, aumentando, conseqüentemente, o período em descoberto pela baixa disponibilidade em períodos específicos do ano. Logo, fica percebido que existe um quantitativo elevado de água em alguns meses do ano, gerando um excesso até quatro vezes maior que o volume estocado no açude. Contudo, existe também um período de estiagem em que apenas o volume estocado não é capaz de suprir a demanda, requerendo alguma ação de complementação.

O Gráfico 05 demonstra o comportamento do fluxo de água no ponto de extração da ETA de Bujari considerando a soma do volume demandado mensalmente com o estoque mantido no reservatório como sua disponibilidade (visto que o excesso será transbordado e “perdido”) frente à demanda para o ano de 2024.

Gráfico 05 – Comportamento do volume de água no barramento do Igarapé Redenção.



Fonte: O autor, 2024.

Considerando a previsibilidade da demanda de água, que se mantém constante ao longo do ano, indica que as variações da entrada de água, influenciam na disponibilidade, sendo necessário ajustar as estratégias para garantir o atendimento dessa demanda constante.

Durante os meses de julho, agosto, setembro e outubro, a linha da disponibilidade de água fica abaixo da demanda, indicando que a quantidade de água disponível não é suficiente para atender à demanda constante.

Essa discrepância provavelmente se deve à redução significativa na entrada total de água (linha verde) durante os meses de seca, que são comuns nesta época do ano. Com a entrada total em declínio, as reservas não são suficientes para manter a disponibilidade em níveis necessários para suprir a demanda.

Esse cenário representa um risco de escassez de água para os meses mencionados, o que pode ter impactos significativos na comunidade e no meio ambiente local. Se a disponibilidade não for gerida adequadamente, resulta em racionamento de água ou em desafios no abastecimento.

Para mitigar essa situação, é crucial implementar medidas de conservação de água e aumentar a eficiência do uso da água nos meses anteriores. Além disso, estratégias como a melhoria das reservas e o uso de fontes alternativas de água poderiam ser exploradas.

2.4 CONCLUSÃO

O estudo realizado permitiu a delimitação e classificação da microbacia do Igarapé Redenção, destacando sua grande importância para o abastecimento da região, apesar de suas pequenas dimensões. A morfometria da bacia, caracterizada por rios sinuosos, contribui para um tempo de concentração elevado, o que ajuda a prevenir extravasamentos e retarda a acumulação da vazão de base durante os períodos de estiagem.

No que se refere à demanda do Aeroporto Internacional de Rio Branco, concluiu-se que, em comparação com aeroportos maiores, como o Gilberto Freire, em Recife, ou os de Guarulhos e Galeão, a demanda por água é relativamente baixa. O consumo do Aeroporto Plácido de Castro é quase irrelevante diante da demanda populacional estudada.

Para o município de Bujari, observou-se que, embora o consumo per capita de 144 litros por habitante ao dia seja ligeiramente inferior à média nacional de 148 litros,

as elevadas perdas no sistema de distribuição quase duplicam a demanda necessária para atender a população. Isso resulta em custos elevados e contribui para a ocorrência de escassez de água.

Em relação à disponibilidade hídrica, a análise revela uma grande variação sazonal, com períodos de abundância seguidos por meses de escassez. Isso evidencia a necessidade de uma gestão eficaz dos recursos hídricos para assegurar o fornecimento contínuo de água.

Por fim, os resultados indicam a necessidade urgente de intervenções no sistema de abastecimento da Estação de Tratamento de Água (ETA) de Bujari, dado que a disponibilidade hídrica é insuficiente por um período prolongado, excedendo 60 dias em alguns casos. Conclui-se que o sistema de barramento e reservação atual no Igarapé Redenção não tem capacidade para atender à demanda local, sendo imprescindível a realização de estudos adicionais para corrigir essas deficiências.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A GAZETA DO ACRE. Seca de açude pode deixar população do Bujari sem água. A Gazeta do Acre, Bujari, Acre, Brasil, 2010. Disponível em: <https://agazetadoacre.com/2010/09/noticias/geral/seca-de-acude-pode-deixar-populacao-do-bujari-sem-agua/>. Acesso em: 12 de dezembro de 2023.

ACRE. Acre em números. Rio Branco: Secretaria de Estado de Planejamento – SEPLAN, 2017. Disponível em: <https://seplan.ac.gov.br/bacias-e-dimensoes-da-rede-de-drenagem/>. Acesso em: 09 de janeiro de 2024.

ACRE. Agência Reguladora dos Serviços Públicos do Estado do Acre – AGEAC; Relatório Técnico de Fiscalização 2022: abastecimento de água potável do município do Bujari; Divisão Técnica De Saneamento Básico – DISAN; Bujari, 2022.

ACRE. Governo do Estado do Acre. Caderno das Unidades de Gestão de Recursos Hídricos do Acre / Secretaria de Estado do Meio Ambiente. – Rio Branco: SEMA, 2014. Disponível em: https://www.fundoamazonia.gov.br/export/sites/default/pt/.galleries/documentos/acervo-projetos-cartilhas-outros/Acre-VAAF-Caderno-Unid_Gestao_Recursos_Hidricos.pdf. Acesso em: 15 de dezembro de 2023.

ACRE. Governo do Estado do Acre. Programa Estadual de Zoneamento Ecológico Econômico do Estado do Acre. Diagnóstico dos Tipos de Solos de Parte da Bacia do Rio Acre do Município de Rio Branco. 2006.

ACRE. Plano Estadual de Recursos Hídricos do Acre – Rio Branco. Rio Branco: Secretaria de Estado de Meio Ambiente - SEMA. 2012.

ACRE. Secretaria de Estado de Meio Ambiente. Recursos naturais: geologia, geomorfologia e solos do Acre. ZEE/AC, fase II, escala 1:250.000. Rio Branco: SEMA Acre, 2010.

ACRE. Secretaria de Estado de Planejamento. Comparativo de crescimento populacional. [Rio Branco]: Secretaria de Estado de Planejamento, [s.d.]. Disponível em: <https://seplan.ac.gov.br/comparativo-do-crescimento-populacional-por-populacao-residente-e-taxa-de-crescimento-da-populacao/>. Acesso em: 10 de maio de 2024.

ACRE. Serviço de água e esgoto do estado do acre – SANEACRE; Relatório de projeto: revitalização e melhorias no sistema de abastecimento de água e estrutura do Saneacre em Bujari – Acre; Rio Branco, 2023.

ALMEIDA, L.; SERRA, J. C. V. Modelos hidrológicos, tipos e aplicações mais utilizadas. Revista da FAE, v. 20, n 1, p. 129 – 137. Curitiba – PR: 2017. Disponível em: <<https://revistafae.fae.edu/revistafae/article/view/113>>. Acesso em: 10 de junho de 2024.

ALVES, J. M. P.; CASTRO, P. T. A. Influência de feições geológicas na morfologia da bacia do rio Tanque (MG) baseada no estudo de parâmetros morfométricos e análise de padrões de lineamentos. Revista Brasileira de Geociências, v. 33, n. 2, p. 117-127, 2003.

ANA - Agência Nacional De Águas e Saneamento. Catálogo de Metadados da ANA; Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil: Demandas Hídricas Consuntivas. Brasília, 2016. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/4b9960a4-6436-43d7-9beb-bad256f090fc>. Acesso em: 20 de maio de 2024.

ARAUJO, L. M.; MEDEIROS, G. A.; SERRANO, R. O. P. Morphometric analysis of the igarapé redemption water basin in rio branco, acre state, Brazil. Journal of Engineering Research; Atena Editora; v. 2, n. 16, 2022. Disponível em: <https://atenaeditora.com.br/catalogo/artigo-revista/morphometric-analysis-of-the-igarape-redemption-water-basin-in-rio-branco-acre-state-brazil>. Acesso em: 10 de maio de 2024.

BAPTISTA, M.; CARDOSO, A. Rios e Cidades: uma longa e sinuosa história; rev. UFMG, Belo Horizonte, v. 20, n.2, p. 124-153, jul./dez. 2013. Disponível em: <https://www.ufmg.br/revistaufmg/downloads/20-2/05-rios-e-cidades-marcio-baptista-adriana-cardoso.pdf>. Acesso em 12 de maio de 2024.

BRASIL, J. Sem água há 30 dias, moradores do Bujari (AC) fecham entrada da cidade em protesto. G1, Acre, 2022. Disponível em: <https://g1.globo.com/ac/acre/noticia/2022/10/19/sem-agua-ha-30-dias-moradores-do-bujari-ac-fecham-entrada-da-cidade-em-protesto.ghtml>. Acesso em: 12 de dezembro de 2023.

BUJARI. Sobre o Município: Formação Administrativa; Gabinete do Prefeito | Secretaria Municipal de Planejamento; 2024. Disponível em: <https://www.bujari.ac.gov.br/paginas/munic%C3%ADpio>. Acesso em: 12 de dezembro de 2023.

CALIJURI, M. L.; CAMBRAIA NETO, A. J.; ALVES, H. O.; PASQUALINI, L. N.; GIRONDOLI, L. M.; SANTOS, M. S. V. Reuso de água no Aeroporto Internacional

Tancredo Neves, em Confins, MG. Anais do XVII SBRH - SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2007. Disponível em: https://abr.h.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/19/12dcd6a3306bb81601ae51ef22383d71_cf92086e38198ec52fce8d07c52c99e7.pdf. Acesso em: 14 de maio de 2024.

CARARO, D. C.; ZUFFO, C. E. Manejo e uso da água na Amazônia Ocidental. Solos da Amazônia Ocidental: base da sustentabilidade agrícola e ambiental. Embrapa. Brasília, DF: Embrapa, 2021. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/222897/1/cpafro-18554.pdf>. Acesso em: 12 de junho de 2024.

CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. B. Hidrologia. Apostila. Departamento de Engenharia. UFRJ: 2006. Disponível em: <http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/it113-hidrologia.htm>. Acesso em: 10 de junho de 2024.

CAVALCANTE, L. M. Aspectos geológicos do estado do Acre e implicações na evolução da paisagem. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2006.

CHRISTOFOLETTI, Antônio; Geomorfologia; São Paulo, Edgard Blucher, 2ª edição, 1980.

CPMR – Serviço Geológico do Brasil. Bacia do Rio Acre- Características (2021). Disponível em: <https://www.cprm.gov.br/sace/acre_caracteristicas.php>. Acesso em: 13 de abril de 2024.

FREIRE, M. T. M. O consumo racional de água no Aeroporto Internacional de Salvador, Bahia/Brasil, Dissertação (mestrado); Universidade Federal da Bahia. Escola Politécnica; Salvador, 2011. Disponível em: https://repositorio.ufba.br/bitstream/ri/15194/1/DissertacaoPEI_Thais%20Freire.pdf. Acesso em: 12 de maio de 2024.

GOUVÊA, C. J. T. Cálculo de vazão de bacia hidrográfica visando a construção de uma obra de arte. Universidade do Vale do Paraíba – UNIVAP. São José do Campos: 2015.

GIATTI, L. L.; CUTOLO, S. A.; Acesso à água para consumo humano e aspectos de saúde pública na Amazônia legal. Ambiente & Sociedade. São Paulo; v. XV, n. 1, p. 93-109; jan.-abr. 2012.

GOMES, M. Moradores de Bujari reclamam por falta de água; Na Via Parque não cai água há 6 dias. AcreNews, 2021. Disponível em: <https://acrenews.com.br/moradores-de-bujari-reclamam-por-falta-de-agua-na-via-parque-nao-cai-agua-ha-6-dias/>. Acesso em: 12 de dezembro de 2023.

GOMES, V. P.; PIQUERAS, F. D.; The role of the amazon cooperation treaty for shared water management. Actualidad Jurídica Ambiental, n. 53, 2016.

IBGE. Censo 2022: População e Domicílios. Brasil, 2022. Disponível em <https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/>. Acesso em: 11 de agosto de 2023.

INFRAERO - Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária. “Anuário Estatístico Operacional 2018”. Brasília: INFRAERO; pág. 108; 2019. Disponível em: https://transparencia.infraero.gov.br/wp-content/uploads/2019/12/Anu%C3%A1rio_2018_PADD.pdf. Acesso em: 09 de maio de 2024.

INFRAERO - Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária. "Relatório Ambiental 2005/2006". Brasília: INFRAERO. 38f. 2006

ITB – Instituto Trata Brasil. Estudo de perdas de água de 2024 (SNIS, 2022): desafios na eficiência do saneamento básico no Brasil. Brasil, 2024. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2024/06/Estudo-da-GO-Associados-Perdas-de-Agua-de-2024-V2.pdf>. Acesso em: 20 de maio de 2024.

JORNAL ESTADO DE MINAS. Recessão atinge voos domésticos no Brasil. Estado de Minas Economia, Brasil, 2018. Disponível em: https://www.em.com.br/app/noticia/economia/2018/12/17/internas_economia,1013804/recessao-atinge-voos-domesticos-no-brasil.shtml#google_vignette. Acesso em: 12 de maio de 2024.

JOSA, R. N.; FERRAZ, V. D.; GAMA, H. O.; SOUZA, L. C.; SILVA, A. L. T.; SOTERO, C. S. Estimativa de cálculo da vazão máxima da Bacia do Rio Verruga para auxílio no combate às enchentes em Vitória da Conquista – BA. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 05, Ed. 06, Vol. 08, pp. 05-23. junho de 2020. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/estimativa-de-calculo>. Acesso em: 15 de junho de 2024.

LEBRE, V. Com aumento de 34%, fluxo no aeroporto de Rio Branco chega a quase 400 mil passageiros em 2022. G1 Acre, Rio Branco, 2023. Disponível em: <https://g1.globo.com/ac/acre/noticia/2023/02/25/com-aumento-de-34percent-fluxo-no-aeroporto-de-rio-branco-chega-a-quase-400-mil-passageiros-em-2022.ghtml>. Acesso em: 12 de maio de 2024

LUIZ, T. B. P.; SCHRODER, T. Modelos chuva-vazão: uso de técnicas de aprendizagem de máquinas para calibração de modelos em uma pequena bacia hidrográfica. Geoambiente on-line: Jataí-GO, 2020.

MACEDO, E. P.; SOSNOSKI, A. S. K. B.; MENDES, L. E. Comparação dos métodos Racional, I PAI WU e Hidrograma Unitário do Soil Conservation Service para cálculo de vazão de pico em áreas urbanas. Associação Brasileira de Recursos Hídricos. XXIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2021. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=13294>. Acesso em: 10 de junho de 2024.

MAGALHÃES, C. A. C., MORENO, J., & GALVÃO Jr., A. C. Estimativa do consumo per capita em comunidades atendidas pela unidade de negócio do médio Tietê. 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. João Pessoa. ABES – Anais. Rio de Janeiro, 2001. Disponível em: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/%20caliagua/brasil/i-061.pdf>. Acesso em: 15 março. 2024.

MORAES, J. M. Propriedades físicas dos solos na parametrização de um modelo hidrológico. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, volume 8, n 1, pag. 61-70; 2003. Disponível em: https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=1&ID=37&SUMARIO=573&ST=propriedades_fisicas_dos_solos_na_parametrizacao_de_um_modelo_hidrologico. Acesso em: 10 de junho de 2024.

NASCIMENTO, A. Moradores do Bujari têm racionamento de água após igarapé que abastece reservatório ficar abaixo de 2 metros. G1, Acre, 2022. Disponível em: <https://g1.globo.com/ac/acre/noticia/2022/09/12/moradores-do-bujari-tem>

racionamento-de-agua-apos-igarape-que-abastece-reservatorio-ficar-abaixo-de-2-metros.ghtml. Acesso em: 12 de dezembro de 2023.

PENETRA, M. Município acreano de Bujari sofre contingenciamento de água a partir de segunda. Radio Agência, Brasília, Brasil, 2018. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/radioagencia-nacional/geral/audio/2018-07/municipio-acreano-de-bujari-sofre-contingenciamento-de>. Acesso em: 12 de dezembro de 2023.

QGIS. Sistema de Informação Geográfica QGIS. Associação QGIS, 2024. (programa computacional). Disponível em: <http://www.qgis.org>.

RODRIGUES, I. Após seca severa em 2017, estudo dá oito soluções para crise hídrica em cidade no interior do Acre. G1, Acre, Brasil, 2019. Disponível em: <https://g1.globo.com/ac/acre/noticia/2019/04/20/apos-seca-severa-em-2017-estudo-da-oito-solucoes-para-crise-hidrica-em-cidade-no-interior-do-acre.ghtml>. Acesso em: 12 de dezembro de 2023.

SALIS, H. H. C.; COSTA, A. M.; VIANNA, J. H. M.; SCHULER, A. E.; Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do córrego do marinho, Sete Lagoas – MG. Bol. Geogr., Maringá, v. 37, n 2, p. 186-201, 2019. Disponível em: <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/BolGeogr/article/view/36965>. Acesso em: 13 de março de 2024.

SANTOS, L. L. Modelos hidráulicos-hidrológicos: conceito e aplicações. Revista Brasileira de Geografia Física, vol. 2, n 03. Recife-PE, 2009. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/232624>. Acesso em: 10 de junho de 2024.

SÃO PAULO. Diretrizes de projeto para estudos hidrológicos – método de I-Pai-Wu. Secretaria de Vias Públicas. Superintendência de Projetos e Obras. 1999.

SÃO PAULO. Secretaria de Estado de Energia, Recursos Hídricos e Saneamento. Departamento de Águas e Energia Elétrica. Guia prático para projetos de pequenas obras hidráulicas. São Paulo, DAEE, 2005. Disponível em: http://www.dae.sp.gov.br/site/wp-content/uploads/2024/05/GuiaPratico_Dae_2005.pdf. Acesso em: 10 de junho de 2024.

SCHEIDT, F. A.; BRUNETTO, M. A. C.; Modelagem chuva-vazão utilizando redes neurais artificiais e algoritmos genéticos; XXXI Congresso da Sociedade Brasileira de Computação; III Workshop de Computação Aplicada à Gestão do Meio Ambiente e Recursos Naturais: Natal-RN, 2011.

SILVA, G. N. A influência do desmatamento na Amazônia sobre a pluviosidade da Região Sudeste e sua relação com a crise hídrica paulistana (2013-2016); 23ª Semana de Biologia, Unesp, 2017.

SILVA, Z. L. “Verão e inverno amazônico”: perspectiva meteorológica e a percepção dos moradores do município de Manaus/AM / Zilmar Lima da Silva. 2022. Disponível em: https://tede.ufam.edu.br/bitstream/tede/8747/2/Disserta%C3%A7%C3%A3o_ZilmarSilva_PP GEOG.pdf. Acesso em: 15 de maio de 2024.

SIQUEIRA, I. S. Variabilidade ambiental na região metropolitana de Belém. Anais do X Colóquio Organizações, Desenvolvimento e Sustentabilidade. Universidade da

Amazônia – UNAMA. v. 10, 2019. Disponível em: <http://revistas.unama.br/index.php/coloquio/article/view/1763>. Acesso em: 15 de maio de 2024.

SNIS – Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento. Painel de Regionalização dos Serviços de Saneamento Básico no Brasil; Estruturas de Regionalização de Água e Esgoto – Acre – Bujari; Indicadores de Água. Ano Base: 2022. Disponível em: <http://appsnis.mdr.gov.br/regionalizacao/web/mapa/index?id=1>. Acesso: 10 de dezembro de 2023.

SOUSA, J. W. Características climáticas do município de Rio Branco, Acre, período de 1990-2019. *Scientia Naturalis*, v. 2, n. 2, p. 723-740, Rio Branco: 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufac.br/index.php/SciNat/article/view/4231>. Acesso em: 18 de junho de 2024.

TAMWING, D. S. Disponibilidade hídrica no Rio Acre para fins de abastecimento de água; Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Acre; Programa de Pós-graduação em Ciência, Inovação e Tecnologia para a Amazônia, Rio Branco, 2022.

TAMWING, D. S.; MONTEFUSCO, C. L. A.; SERRANO, R. O. P.; MESQUITA, A. A.; MOREIRA, J. G. V. Caracterização do regime fluvial da bacia hidrográfica do rio Acre; *Research, Society and Development*, v. 10, n. 17, e93101724461, 2021, DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i17.24461>.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A.; *Hidrologia Aplicada*; São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975.

VON SPERLING, M. Princípios básicos do tratamento biológico de águas residuárias. Vol. 1. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Editora UFMG. 4a ed., 2011.

CAPÍTULO III

CONDIÇÕES DO ABASTECIMENTO DE ÁGUA DO MUNICÍPIO DE BUJARI - ACRE: uma análise do parâmetro demanda *versus* disponibilidade atual e futura pelo método da Regionalização de Vazão

RESUMO

O município de Bujari, localizado no estado do Acre, utiliza um sistema de abastecimento de água que realiza a captação através de uma barragem de acumulação no curso do Igarapé Redenção. Contudo, este sistema enfrenta dificuldades de abastecimento em determinados períodos do ano, resultando em racionamento ou falta d'água. Portanto, este estudo visa analisar a capacidade de oferta de água (reservação) na barragem do Igarapé Redenção em comparação com a demanda atual e futura de água tratada para a Estação de Tratamento de Água (ETA) de Bujari nos próximos 40 anos. Para atingir esse objetivo, foi realizada a regionalização de vazão, transferindo os parâmetros hidrológicos da bacia do Rio Acre para a microbacia do Igarapé Redenção. A microbacia foi caracterizada morfometricamente e a demanda de água para o Aeroporto Internacional de Rio Branco e para o município de Bujari foi determinada. Por fim, estabeleceu-se a vazão outorgável para a área de estudo, constatando-se que a oferta de água atual atende exatamente à demanda do ano corrente, mas apresenta insuficiência para os anos futuros.

Palavras-chave: Abastecimento de Água. Capacidade de Oferta. Demanda Futura. Regionalização de vazão.

ABSTRACT

The municipality of Bujari, located in the state of Acre, uses a water supply system that captures water through an accumulation dam on the course of the Igarapé Redenção. However, this system faces supply difficulties at certain times of the year, resulting in rationing or lack of water. Therefore, this study aims to analyze the water supply capacity (reservation) in the Igarapé Redenção dam in comparison with the current and future demand for treated water for the Bujari Water Treatment Station (ETA) over the next 40 years. To achieve this objective, flow regionalization was carried out, transferring the hydrological parameters from the Acre River basin to the Igarapé Redenção microbasin. The watershed was characterized morphometrically and the water demand for Rio Branco International Airport and the municipality of Bujari was determined. Finally, the flow rate available for the study area was established, noting that the current water supply exactly meets the current year's demand, but is insufficient for future years.

Keywords: Water supply. Offer Capacity. Future Demand. Flow regionalization.

3.1 INTRODUÇÃO

Apesar de deter uma das maiores reservas de água doce do mundo, o Brasil enfrenta secas periódicas que afetam diversas regiões, incluindo a Amazônia, reconhecida por sua vasta extensão, biodiversidade rica, grande bacia hidrográfica e a maior floresta tropical do planeta (Silva, 2017; Gomes & Piqueras, 2016). Contudo, o acesso à água potável é um desafio em muitos municípios e vilarejos da Amazônia. Um exemplo é o município de Bujari, no Acre, que, apesar de contar com um sistema de tratamento e abastecimento de água, ainda enfrenta dificuldades de abastecimento durante períodos específicos do ano (Giatti & Cutolo, 2012).

Bujari é um dos 22 municípios do estado do Acre. Com uma área territorial de 3.034,87 km² (IBGE, 2022), faz fronteira com os municípios de Porto Acre, Sena Madureira e Rio Branco, além de divisa com o estado do Amazonas (Acre, 2014). Segundo a Confederação Nacional dos Municípios, o povoado foi elevado a vila em 1986 devido à construção da BR-364 e, em 1992, à categoria de município com a denominação de Bujari (Bujari, c2024).

O município de Bujari é um dos 22 municípios que compõem o estado do Acre. Com um território de 3034,87 km² de área (IBGE, 2022), faz limite com os municípios de Porto Acre, Sena Madureira e a Capital Rio Branco, além de fazer divisa com o Estado do Amazonas (Acre, 2014).

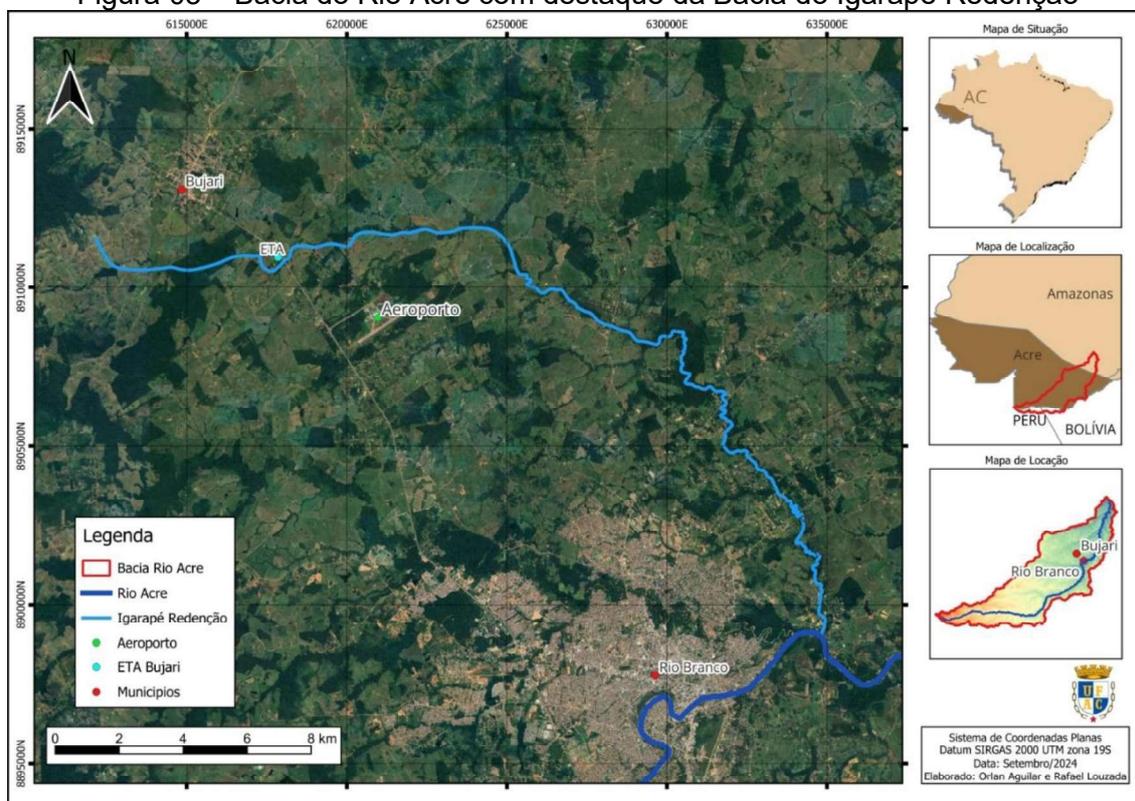
O município apresenta um relevo caracterizado por planícies com altitudes entre 100 e 200 metros (Acre, 2014). Geologicamente, a unidade mais importante é a Bacia do Acre, composta principalmente por sedimentos cenozoicos, incluindo argilitos, siltitos, arenitos finos, calcários e lignitos (Acre, 2010; Cavalcante, 2006). Essa composição geológica aumenta o risco de inundações, devido à bacia sedimentar e sua extensa rede de drenagem (Araújo, Medeiros & Serrano, 2022).

O clima de Bujari é tropical úmido, com uma curta estação seca. As temperaturas médias no mês mais frio ultrapassaram os 18°C. A região experimenta duas estações marcadas: o "inverno amazônico" (dezembro a maio), com chuvas intensas, e o "verão amazônico" (junho a novembro), caracterizado por calor intenso, baixa pluviosidade e períodos de seca (Acre, 2014; Siqueira, 2019). Como em outros municípios do Norte, há um período chuvoso e um seco, denominados inverno e verão amazônicos, respectivamente, conforme pesquisa de Silva (2022). Durante o inverno amazônico, de dezembro a maio, as chuvas são abundantes; no verão amazônico, de junho a

novembro, o calor elevado e a baixa térmica geram períodos de seca (Siqueira, 2019). Assim, os cursos d'água da região apresentam elevada amplitude hídrica.

Localizado próximo à capital Rio Branco, Bujari integra a Bacia Hidrográfica do Rio Acre, na Amazônia Sul Ocidental, compartilhada entre os estados brasileiros do Acre e Amazonas e os departamentos de Madre de Dios (Peru) e Pando (Bolívia) (Acre, 2012; Tamwing, 2022). A bacia do Rio Acre apresenta uma extensa rede hidrográfica, com cursos de água volumosos e sinuosos que fluem do sudoeste ao nordeste, abrangendo uma área aproximada de 35.792 km², e seu rio principal possui cerca de 1.200 km de extensão (Acre, 2017; CPMR, 2021; Tamwing *et al.*, 2021).

Figura 03 – Bacia do Rio Acre com destaque da Bacia do Igarapé Redenção



Fonte: O autor, 2024.

A água é um recurso essencial para a vida humana e tem papel fundamental na determinação do desenvolvimento e localização de cidades e povoados, geralmente próximos a corpos d'água. No Brasil, observa-se que as áreas mais antigas das cidades estão frequentemente situadas ao longo dos principais rios que as atravessam (Baptista; Cardoso, 2013). Contudo, o município de Bujari, localizado no estado do Acre, representa uma exceção, já que sua fonte de abastecimento vem das águas represadas do Igarapé Redenção, situadas nas proximidades, mas sem a mesma relação histórica comum em outras regiões.

A microbacia do Igarapé Redenção, apresentada no mapa anterior, faz parte das bacias contribuintes da Bacia do Rio Acre. Uma pequena barragem, construída em 2005, forma um reservatório que abastece Bujari com água bruta (A Gazeta do Acre, 2010). Entretanto, o município enfrenta três desafios para o abastecimento de água: racionamento anual desde 2010, afetando a vida local por até 30 dias; o abastecimento do Aeroporto Internacional Plácido de Castro, situado entre Bujari e Rio Branco, que também é afetado pela escassez, dada a alta demanda de água de aeroportos para serviços como banheiros (INFRAERO, 2006; Calijuri *et al.*, 2007; Freire, 2011); e, por fim, as altas perdas na distribuição, que chegam a alarmantes 78,76%, de acordo com o SNIS (2022).

Nos anos de 2017, 2018, 2021 e 2022, o nível do reservatório atingiu mínimos históricos, sendo necessário o fornecimento de água complementar por meio de caminhões-pipa (Penetra, 2018; Rodrigues, 2019; Gomes, 2021; Nascimento, 2022). Em 2022, a administração do aeroporto chegou a divulgar uma nota sobre a redução de alguns serviços para manter operações essenciais durante a crise (Brasil, 2022).

O abastecimento de água de Bujari é gerido pelo SANEACRE, autarquia estadual que atua desde 2010. Conforme relatório da Agência Reguladora do Acre (AGEAC) e do próprio SANEACRE, o sistema de abastecimento de Bujari inclui captação superficial, estações elevatórias, adutoras, uma estação compacta de tratamento, reservatórios e redes de distribuição, além de ligações domiciliares (Acre, 2022; Acre, 2023). A água captada no Igarapé Redenção passa por tratamento na estação compacta e segue para um reservatório apoiado, de onde é distribuída para o aeroporto e os reservatórios municipais (Acre, 2022).

Conforme dados do Acre (2014), o município de Bujari localiza-se principalmente na Unidade de Gestão de Recursos Hídricos Acre-Iquiri e conta com uma Estação de Tratamento de Água (ETA) compacta, cuja capacidade nominal de tratamento é de 30 l/s. Porém, a AGEAC classifica o sistema como insatisfatório, apontando várias inconformidades (Acre, 2022).

Este cenário aponta para uma crise de abastecimento na ETA de Bujari, que tende a se agravar no futuro. Assim, este estudo objetiva avaliar a capacidade de reservação na barragem do Igarapé Redenção frente à demanda atual e projetada para os próximos 40 anos, permitindo uma visão sobre a sustentabilidade desse serviço essencial.

Dessa forma, o estudo foca na análise da capacidade da barragem do Igarapé Redenção em garantir o abastecimento da ETA de Bujari no longo prazo, buscando entender os principais obstáculos e propor medidas que assegurem a continuidade do fornecimento hídrico e a segurança hídrica do município.

3.2 MATERIAL E MÉTODO

Para alcançar o objetivo deste estudo, foram realizadas etapas de quantificação do consumo de água potável, caracterização morfométrica da bacia do Igarapé Redenção e análise do sistema de abastecimento de água, com foco na capacidade de oferta hídrica. Trata-se de um estudo de abordagem qualiquantitativa: qualitativa, ao descrever a bacia hidrográfica e as interações que ocorrem em seu contexto; quantitativa, ao quantificar informações através de dados volumétricos e estatísticos que subsidiam as análises.

O estudo é classificado como uma pesquisa aplicada, visto que visa gerar conhecimento útil para resolver problemas específicos relacionados à gestão de recursos hídricos locais. A metodologia adotada é exploratória, dividida em três eixos principais de caracterização: populacional, morfométrica e de abastecimento, com o objetivo final de analisar a relação entre oferta e demanda de água na região.

A coleta de dados foi realizada por meio de levantamentos junto a setores especializados em geração de dados, consultas a órgãos reguladores, e a aplicação de cálculos específicos para estimar demandas hídricas e caracterizar a bacia hidrográfica.

3.2.1 PROCESSOS PARA O ESTABELECIMENTO DA DEMANDA

A estimativa da demanda hídrica foi baseada no cálculo da vazão necessária para atender aos diversos usos consuntivos, tais como consumo urbano, industrial, irrigação e criação de animais, conforme definido pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2016). A formulação do balanço hídrico entre disponibilidade e demanda é um dos pilares da Política Nacional de Recursos Hídricos, estabelecida pela Lei 9.433/97, que também prioriza o consumo humano e a dessedentação de animais em situações de escassez.

3.2.1.1 Demanda Populacional

A caracterização populacional do município de Bujari é um aspecto crucial para a definição da demanda de água potável. Conforme dados do IBGE (2022), cerca de 43% da população bujariense reside em zona urbana, dependendo totalmente do abastecimento de água do sistema de distribuição do Saneacre. Já os quase 57% que

residem em zona rural possuem fonte alternativa de abastecimento de água. Contudo, o levantamento do número de habitantes foi realizado com base nos dados do Censo Demográfico do IBGE para toda a população e sua projeção de crescimento foi feita utilizando três métodos distintos:

1. Crescimento Aritmético ou Linear: Este método considera uma situação mais favorável, com menor consumo de água.
2. Crescimento Logístico: Busca a estabilização do crescimento populacional, representando um cenário de saturação.
3. Crescimento Geométrico: Considera uma situação menos favorável, com maior consumo de água.

Esses métodos foram aplicados considerando uma densidade populacional que varia entre 1200 e 3600 hab/km² para residências unifamiliares em lotes grandes, conforme Von Sperling (2011).

Os dados censitários utilizados para as projeções são apresentados na Tabela 1, juntamente com as fórmulas de cálculo para cada método:

Tabela 1 – Dados Censitários do Município de Bujari para a Projeção Populacional

Ano	Nomenclatura	População	Nomenclatura
2000	t ₀	5.826	P ₀
2010	t ₁	8.471	P ₁
2022	t ₂	12.917	P ₂

Fonte: Censo Demográfico (2000, 2010, 2022) – Elaborado pelo autor, 2024.

Método Aritmético:

$$P_t = P_2 + K_a(t - t_2) \quad (\text{Eq. 01})$$

Sendo: $K_a = \frac{P_2 - P_0}{t_2 - t_0} \quad (\text{Eq. 02})$

Método Geométrico:

$$P_t = P_2 e^{k_g(t-t_2)} \quad (\text{Eq. 03})$$

Sendo: $k_g = \frac{\ln(P_2) - \ln(P_0)}{t_2 - t_0} \quad (\text{Eq. 04})$

Método Logístico:

$$P_t = \frac{P_S}{1 + c e^{k_1(t-t_0)}} \quad (\text{Eq. 05})$$

Sendo: $P_S = \frac{2 P_0 P_1 P_3 - P_1^2(P_0 + P_3)}{P_0 P_3 - P_1^2} \quad (\text{Eq. 06})$

$$k_1 = \frac{1}{t_3 - t_1} \ln \left(\frac{P_0(P_S - P_1)}{P_1(P_S - P_0)} \right) \quad (\text{Eq. 07})$$

$$c = \frac{P_S - P_0}{P_0} \quad (\text{Eq. 08})$$

Onde: P₀, P₁, P₂ e P₃ – População nos tempos t₀, t₁, t₂ e t₃; P_t – População estimada no ano t; P_S – População de saturação; k_a, k_g e c – Coeficientes.

Observa-se que, para elaboração da curva de crescimento logístico se faz necessário iguais intervalos de tempo. Logo, utilizou-se a curva linear e estabeleceu-se

a população para o ano de 2020 (P_3 e t_3). Utilizando os anos de 2000, 2010 e 2020 projetou-se o crescimento populacional através da curva logística.

Para a quantificação da demanda do consumo populacional foi considerado o consumo médio diário de água por um indivíduo que, em projeto, é denominado comumente de Quota “Per Capita” (QPC) ou Consumo “Per Capita”, conforme preconizam Magalhães, Moreno e Galvão Jr. (2001). O Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento apontou o valor do consumo *per capita* de água para o município de Bujari em 144 l/hab/dia (SNIS, 2022).

3.2.1.2 Demanda Aeroportuária

Para calcular a demanda de água do Aeroporto Internacional de Rio Branco, utilizou-se o movimento anual de passageiros disponível no Anuário Estatístico Operacional publicado pela Infraero. A última edição desse anuário foi publicada em 2019, contendo dados referentes ao período de 2014 a 2018. Após a privatização do aeroporto em 2021, a responsabilidade pela divulgação desses dados foi transferida para a operadora privada atual. No entanto, mesmo após múltiplas tentativas de obtenção, esses dados não foram disponibilizados para este estudo. Além disso, não foram encontrados dados consolidados recentes da concessionária, exceto algumas informações divulgadas pelo site de notícias G1, que relatou os movimentos anuais de passageiros para os anos de 2019, 2021 e 2022, conforme dados fornecidos pela operadora do aeroporto.

Os dados divulgados refletem o fluxo total anual de passageiros. Para fins de cálculo da demanda de água, foi necessário desagregar esses dados para obter o movimento diário médio, assumindo um ano com 360 dias. A Tabela 2 apresenta os dados coletados e o movimento diário correspondente:

Tabela 2 – Dados do Movimento Medido para o Aeroporto Placido de Castro

Ano	Movimento Medido (Anual)	Movimento Medido (Diário)
2014	391038	1086
2015	387071	1075
2016	354249	984
2017	345079	959
2018	308721	858
2019	350000	972
2021	259300	720
2022	393000	1092

Fonte: Infraero (2019); G1 (2023) – Elaborado pelo autor, 2024.

Com base nestes dados, estimou-se a população usuária do aeroporto para os anos analisados. Observa-se uma tendência de redução no número de passageiros entre 2014 e 2018, conforme registrado pela Infraero (2019). Essa queda é atribuída à recessão econômica que afetou o Brasil durante aquele período, como apontado em reportagem do Jornal Estado de Minas (2018). Os dados de Lebre (2023) mostram um aumento no número de passageiros em 2019, seguido por uma nova queda em 2021 devido à pandemia de Covid-19, e um aumento subsequente em 2022. No entanto, o número de passageiros em 2022 ainda não superou o volume registrado em 2014.

Dessa forma, estabeleceu-se uma curva com projeção que representasse tal comportamento para a estimativa populacional, mas este valor tende a se reduzir em função dos dados. Optou-se, portanto, por estabelecer um crescimento fixo de 1,01% anual a partir de 2022, com o objetivo de projetar um aumento futuro no número de passageiros. Esse percentual de crescimento (1,01%) foi calculado com base na razão entre o crescimento populacional do estado do Acre, que foi de 13,2% entre 2010 e 2022, e o número de anos nesse período (Acre, [s.d.]).

Considerou-se, para o estabelecimento da demanda do aeroporto, o consumo *per capita* de água em quinze litros por passageiro por dia (15l/pax/dia) baseado no estudo de Von Sperling (2011) que estimou que o gasto médio de água em aeroportos para atender a demanda de passageiros e da manutenção, se situa por volta de 8 a 15 l/dia para cada passageiro.

3.2.1.3 Demanda Total

No processo de abastecimento de água por meio de redes de distribuição, pode haver perdas dos recursos hídricos em decorrência de diversas causas, tais como: vazamentos, erros de medição e consumos não autorizados (Trata, 2024). No Brasil, quase 40% (37,78%) de toda água potável não chega de forma oficial às residências do país, o que representa perder um volume maior que o de 7,4 mil piscinas olímpicas de água tratada, desperdiçada diariamente (Trata, 2024).

Para que seja atendida a quantidade *per capita* a ser consumida pela população somada a demandada pelo aeroporto, a produção deve ser em maior quantidade pois deve-se considerar a água perdida no sistema de distribuição. Considerando os valores de perdas na distribuição para o Município de Bujari, que chegam a 78,76%, é notório um grande problema no sistema de abastecimento, o que provoca um aumento na captação de água com o fim de garantir que esta chegue ao consumidor final em quantidade e qualidade suficiente para atender às suas necessidades (Tamwing, 2021).

Dessa forma, acresceu-se o percentual de perdas às demandas estabelecidas anteriormente para o estabelecimento da demanda total.

Logo, a demanda total corresponde ao cálculo:

$$D = M \times P_m + A \times P_a \quad (\text{Eq. 09})$$

$$Q_t = 1,7876 \times D \quad (\text{Eq. 10})$$

Onde: Q_t – Demanda total; D – Demanda; M – Pop. do Município; P_m – Consumo per capita do município; A – Movimento do Aeroporto; P_a – Consumo per capita do aeroporto; 78,76% – Índice percentual de perdas na distribuição.

Essas equações refletem a necessidade de superdimensionar a produção de água para compensar as perdas no sistema e garantir que a demanda da população e do aeroporto seja plenamente atendida. A aplicação desses cálculos permite planejar de forma mais eficaz a infraestrutura necessária para o abastecimento de água em Bujari, considerando as condições reais do sistema de distribuição.

3.2.2 CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA

A caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica é essencial para entender sua dinâmica hidrológica, pois fornece parâmetros quantitativos que auxiliam no planejamento e gerenciamento dos recursos naturais (Salis et al., 2019). Esse tipo de análise possibilita diagnósticos preliminares sobre o potencial e as limitações dos recursos hídricos da região, com base nas características físicas da bacia, como área, perímetro, forma, relevo, e a densidade da rede de drenagem (Villela & Mattos, 1975; Alves & Castro, 2003). Esses dados são fundamentais para prever a resposta hidrológica da bacia a diferentes eventos climáticos e ações humanas, favorecendo uma gestão mais eficiente e sustentável dos recursos hídricos.

3.2.2.1 Bacia do Igarapé Redenção

Para a caracterização morfométrica da Bacia do Igarapé Redenção, que faz parte da Bacia do Rio Acre, foi adotado um método descritivo para os padrões físicos da bacia, com base em cartas cartográficas disponibilizadas pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente e das Políticas Indígenas do Acre, conforme o Zoneamento Ecológico e Econômico (ZEE-AC), em escala 1:250.000 (Acre, 2010). A delimitação e cálculos da área da bacia foram executados por meio do software QGIS 3.34 Prizren, uma ferramenta *open-source*.

Para delimitar a bacia em escala 1:5000, foram considerados os limites naturais como divisores de água, áreas de acumulação, barragens, e açudes, além das redes de drenagem nas bacias vizinhas. A etapa de retificação dos cursos d'água foi crucial para ajustar a precisão cartográfica, adequando a representação dos cursos d'água ao traçado real da rede de drenagem, especialmente em alterações de escala. Esta etapa foi determinante, pois parâmetros morfométricos, como o comprimento do rio principal e de seus afluentes, dependem diretamente dessa retificação.

Posteriormente, foram calculados os parâmetros morfométricos da bacia, incluindo o fator de forma, o coeficiente de compacidade, a densidade de drenagem e a sinuosidade, além de identificados o talvegue da bacia e sua ordem. Esses parâmetros permitem uma análise detalhada da estrutura física da bacia e são essenciais para avaliar sua resposta hidrológica e potencial de escoamento, contribuindo para o planejamento hídrico e ambiental da região.

Os parâmetros morfométricos investigados incluem:

- Área (A): Delimitada pelos divisores topográficos, medida por projeção horizontal a partir das cartas topográficas do ZEE-AC (Acre, 2010). O cálculo foi realizado no software QGIS.
- Perímetro (P): Determinado pela linha de separação visual que circunda o sistema fluvial da bacia, contornando o exultório. Calculado no QGIS.
- Comprimento do rio principal (L_{RP}): Medida da distância percorrida pelo rio principal, considerando suas curvaturas e bifurcações. Calculado no QGIS.
- Comprimento dos rios afluentes (L_{RA}): Soma dos comprimentos dos afluentes e subafluentes presentes na bacia. Calculado no QGIS.
- Comprimento total dos cursos d'água (L_{TR}): Soma do comprimento do rio principal e de todos os seus afluentes e subafluentes. Calculado no QGIS.
- Comprimento do Talvegue (L_t): Medido da nascente ao exultório. Calculado no QGIS.
- Comprimento axial da bacia (L_A): Medido como a distância linear ao longo do ponto médio do curso do rio principal. Calculado no QGIS.
- Coeficiente de Compacidade (kc): Relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo com área igual à da bacia, representando a propensão à ocorrência de grandes enchentes.

$$kc = \frac{0,28P}{\sqrt{A}} \text{ e } \begin{cases} 1,00 \leq kc \leq 1,25 \rightarrow \text{alta propensão à grandes enchentes} \\ 1,26 < kc \leq 1,50 \rightarrow \text{tendência mediana a grandes enchentes} \\ 1,50 < kc - \text{bacia não sujeita a grandes enchentes} \end{cases} \text{ (Eq. 11)}$$

- Fator de forma (K_f): Razão entre a largura média da bacia e seu comprimento axial, indicando a suscetibilidade a enchentes.

$$K_f = \frac{A}{L_A^2} \quad e \quad \begin{cases} K_f \leq 0,50 \rightarrow \text{Não sujeito a enchentes} \\ 0,50 < K_f \leq 0,75 \rightarrow \text{Tendencia mediana} \\ 0,75 < K_f \leq 1,00 \rightarrow \text{Sujeito a enchentes} \end{cases} \quad (\text{Eq. 12})$$

- Índice de circularidade (IC): Relação entre a área da bacia e a área de um círculo com perímetro igual ao da bacia, indicando o quão próximo a bacia está de um formato circular.

$$IC = \frac{12,57A}{P^2}, \quad \text{Se } IC \text{ tende a } 1 \rightarrow \text{Bacia tende ao formato mais circular} \quad (\text{Eq. 13})$$

- Densidade de drenagem (D_d): Reflete as condições topográficas, pedológicas, hidrológicas e de vegetação, sendo a razão entre o comprimento total dos canais e a área da bacia.

$$D_d = \frac{L_{TR}}{A} \quad e \quad \begin{cases} D_d \leq 5 \text{ km/km}^2 \rightarrow \text{Baixa densidade} \\ 5 \text{ km/km}^2 < D_d \leq 13 \text{ km/km}^2 \rightarrow \text{Média densidade} \\ 13 \text{ km/km}^2 < D_d \rightarrow \text{Alta densidade} \end{cases} \quad (\text{Eq. 14})$$

- Número de cursos d'água (N_n): Define a quantidade de redes de drenagem existentes na bacia em função de sua ordem, relacionada à quantidade de água escoada.
- Sinuosidade do curso principal (Sin): Razão entre o comprimento do rio principal e o comprimento do talvegue, controlando a velocidade do escoamento.

$$Sin = \frac{L_{RP}}{L_T} \quad (\text{Eq. 15})$$

- Extensão média do escoamento superficial (l): Distância média que a água da chuva percorre sobre o terreno da bacia.

$$l = \frac{A}{4L_{TR}} \quad (\text{Eq. 16})$$

- Índice de sinuosidade (IS): Relação entre o comprimento do canal principal e a distância vetorial do canal principal, expressando a velocidade de escoamento.

$$IS = 100 \frac{(L_{RP} - L_T)}{L_T} \quad (\text{Eq. 17})$$

- Relação de Bifurcação (R_b): Razão entre o número de segmentos de uma ordem específica e seu sucessor, expressa como a média das razões anteriores.

- Comprimento médio dos canais (L_{mc}) – Razão entre o comprimento total dos canais e o número total de canais na bacia.

$$L_{mc} = \frac{\sum L_{TR}}{\sum N_n} \quad (\text{Eq. 18})$$

3.2.2.2 Área de drenagem da Barragem

A área de drenagem (A_D) da Bacia do Igarapé Redenção a montante do ponto de acumulação (barragem) foi delimitada usando o software QGIS na escala 1:4500. Esta delimitação é crucial para compreender o tempo de concentração da chuva, a extensão do rio principal dentro da área de acumulação, e para calcular a disponibilidade hídrica da região.

Também foi delimitado o açude de acumulação junto à barragem, com o uso do software QGIS. A partir de partições da área do açude e da medição de sua cota em vários pontos, foi possível estabelecer sua profundidade média e, conseqüentemente, uma estimativa da capacidade volumétrica de reservação. A delimitação da área de acumulação foi realizada utilizando imagens de satélite do Google, capturadas durante o período chuvoso, garantindo assim a projeção do açude cheio.

3.2.3 PROCESSOS PARA O ESTABELECIMENTO DA DISPONIBILIDADE

No contexto da caracterização do abastecimento de água no município de Bujari, foram levantadas informações detalhadas sobre a estação de tratamento de água (ETA), a capacidade de fornecimento de água a montante do ponto de acumulação na região do Igarapé Redenção, e os volumes de água extraído, tratado e distribuído.

3.2.3.1 Parâmetros para a Regionalização de Vazão

Para se chegar à disponibilidade e capacidade de reservação, considerou-se o processo de regionalização de vazões proposto por Tucci (2017). A regionalização de vazões é uma técnica utilizada para transferir espacialmente as informações hidrológicas disponíveis sobre determinadas localidades para áreas de interesse, com o objetivo de melhorar o gerenciamento dos recursos hídricos de uma região, desde que exista uma homogeneidade entre as bacias hidrográficas, permitindo assim uma estimativa precisa das vazões em locais sem dados observacionais diretos, conforme escrevem Moreira e Silva (2014).

No caso do Igarapé Redenção, aplicou-se a regionalização dos dados da Bacia do Rio Acre. O método utilizado foi o de proporcionalidade de vazões, especificamente para locais situados a montante de um posto com vazão conhecida (Moreira e Silva,

2013). Foram utilizados dados das estações fluviométricas na Bacia do Rio Acre, disponibilizados pela Agência Nacional de Águas e Saneamento (ANA) através do HidroWeb (ANA, 2024).

Segundo Tamwing (2021), na base de dados da ANA é possível identificar vinte e cinco estações fluviométricas em operação na Bacia do rio Acre. Conforme aponta Duarte (2011), destacam-se microbacias que integram a bacia do Rio Acre, como a: Trinacional (Brasil, Peru, Bolívia), Xapuri, Riozinho do Rôla, Porto Acre e Biestadual (Acre, Amazonas); para este estudo foram descartadas as estações que apresentaram dados insuficientes para uma análise estatística adequada. Desse modo, utilizou-se os dados de vazão de cinco estações fluviométricas, conforme apresentados por Tamwing (2021), cada uma delas drenando uma microbacia semelhante ao anteriormente apontado. Observa-se que o município de Boca do Acre está localizado no estado do Amazonas, onde o rio Acre deságua na margem direita do rio Purus.

Tabela 9 – Estações de Monitoramento Fluviométrico na Bacia do Rio Acre

Código	Município	Área de Drenagem (km ²)	Período Analisado
13450000	Assis Brasil	3760	1983 - 2021
13470000	Brasiléia	7020	1983 - 2021
13550000	Xapuri	8270	1968 - 2021
13600002	Rio Branco	23500	1971 - 2021
13650000	Boca do Acre	34400	1968 - 2021

Fonte: Adaptado de Tawming *et al.*, 2024.

3.2.3.2 Vazões de referência: mínima, de permanência e média de longa duração

De acordo com Tucci (2017) as vazões mínimas representam os menores valores encontrados nas séries históricas de vazão. Já a vazão média de longo período (ou longa duração) é importante pois fornece o potencial hídrico superficial total da bacia. São importantes para os projetos de captação d'água pois, segundo a Lei Federal 9.433/97, as captações só são legais após serem providenciadas as outorgas, que garantem ao usuário o uso de uma fração da vazão mínima de referência.

A vazão $Q_{7,10}$ representa a vazão média mínima de 7 dias consecutivos com um período de retorno de 10 anos. A vazão Q_{95} é a vazão que ocorre com frequência igual ou superior a 95% do tempo. A vazão $Q_{95,S}$ é uma adaptação da vazão Q_{95} que considera apenas os dados fluviométricos do período do verão amazônico (período seco). Por fim, a vazão Q_{mld} , teoricamente, representa a maior vazão possível de ser extraída com barramento, sendo crucial para compreender o comportamento das águas em períodos prolongados.

Neste trabalho, a regionalização de vazão foi realizada para as vazões: $Q_{7,10}$; Q_{95} ; $Q_{95,S}$ e Q_{mtd} . Procedeu-se com o cálculo das vazões estabelecidas com uso do programa computacional SisCAH 1.0 – Sistema Computacional para Análises Hidrológicas –, que foi desenvolvido pelo Grupo de Pesquisas em Recursos Hídricos – GPRH – e pode ser obtido gratuitamente no endereço eletrônico <<http://www.gprh.ufv.br>> (GPRH, [s.d.]; Moreira; Silva, 2013).

3.2.3.3 Vazão Outorgável

Conforme detalhado por Cararo e Zuffo (2021), o estado do Acre possui uma Câmara Técnica Permanente, vinculada ao Conselho Estadual de Meio Ambiente, Ciência e Tecnologia (Cemact), e dispõe de um Plano Estadual de Recursos Hídricos (PLERH), instituído em 2012. A Resolução CEMACT nº 4, de 17 de agosto de 2010, regulamenta as condições para concessão de outorga provisória e de direito de uso dos recursos hídricos no Acre. Segundo o artigo 4º dessa resolução, cabe ao Instituto de Meio Ambiente do Acre (IMAC) a emissão de outorgas preventivas e de direito de uso para os recursos hídricos de domínio estadual.

Dessa forma, é responsabilidade do IMAC analisar os pedidos de outorga para extração de água e avaliar a disponibilidade hídrica na bacia hidrográfica envolvida. Para calcular a disponibilidade hídrica passível de outorga, o IMAC utiliza os parâmetros do PLERH, que recomendam o critério definido pela Agência Nacional de Águas (ANA). Este critério estabelece que a outorga máxima seja limitada a 70% da vazão Q_{95} (nível utilizado também para cursos d'água sob jurisdição federal) (Acre, 2012).

No contexto de planejamento do uso de recursos hídricos nas Unidades de Gestão de Recursos Hídricos (UGRHs) e considerando a situação de disponibilidade hídrica atual, é importante também realizar um balanço hídrico durante o período mais crítico do ano, ou seja, o semestre seco (de junho a novembro) (Acre, 2012). Assim, o estudo segue as diretrizes do PLERH, aplicando o limite de 70% da Q_{95} tanto para o período seco quanto para o anual.

3.2.3.4 Índices da ONU

Conforme Acre (2012), utilizou-se no Plano Estadual de Recursos Hídricos, para avaliar a relação entre a disponibilidade e a demanda, o indicador de retirada de água ou “Water Exploitation Index”, adotado pela “European Environment Agency” e as Nações Unidas, que indica a classe de disponibilidade hídrica para atendimento das demandas. Esse indicador é definido a partir do quociente entre a retirada total anual e

a vazão média de longo período, sendo classificado em cinco intervalos percentuais que variam de uma situação excelente a muito crítica (Acre, 2012).

Portanto, calculou-se o indicador de criticidade na retirada considerando-se a vazão de longa duração, as vazões de permanência outorgáveis com 95% de permanência para o período anual e período seco, bem como para a vazão mínima de sete dias consecutivos com período de retorno de dez anos.

Para tal, considerou-se:

$$I(\%) = \frac{Q_t}{Q_{mld}} \quad (\text{Eq. 26})$$

Sendo I a razão entre a vazão de retirada (Q_t) e a vazão média anual (Q_{mld}) em cada unidade hidrográfica.

Quadro 4 – Parâmetros para análise de Criticidade da ONU

Classificação	Índices (%)	Descrição
Excelente	$I < 5\%$	Pouca ou nenhuma atividade de gerenciamento é necessária. A água é considerada um bem livre.
Confortável	$5\% \leq I < 10\%$	Gerenciamento necessário para solução de problemas locais de abastecimento.
Preocupante	$10\% \leq I < 20\%$	Gerenciamento indispensável, exigindo investimentos médios.
Crítica	$20\% \leq I < 40\%$	Necessidade de intenso gerenciamento e grandes investimentos.
Muito Crítica	$I \geq 40\%$	Situação muito crítica.

Fonte: Adaptado de Acre (2012).

3.2.3.5 Cálculo da Disponibilidade pela Regionalização de Vazão

Tomou-se a vazão a se regionalizar para cada uma das estações obtidas através do uso dos dados da ANA aplicados no Software SisCAH 1.0. Dividiu-se cada vazão encontrada pela sua referida área da microbacia componente da Bacia do Rio Acre, obtendo-se assim a vazão específica de cada microbacia. Calculou-se a média aritmética das vazões específicas e, na sequência, multiplicou-se o fator resultante pela subárea da Bacia do Igarapé Redenção (A_D), medida de sua cabeceira até o barramento onde se localiza o ponto de extração de água bruta para tratamento na ETA de Bujari. Obteve-se, assim, um valor representativo da vazão regionalizada para o Igarapé Redenção. Observa-se que, para a regionalização da $Q_{7,10}$, obteve-se resultados por meio das distribuições Pearson III, Logpearson III, Lognormal II, Lognormal III e Weibul. Adotou-se a vazão mínima que apresentou os dados mais consistentes, com menor erro padrão e menor variância.

$$Q_{7,10} \text{ Redenção} = \frac{\sum \frac{Q_{7,10} \text{ Microbacias do Rio Acre}}{\text{Área das microbacias}}}{\text{Número de microbacias}} \times A_D \quad (\text{Eq. 27})$$

$$Q_{95} \text{ Redenção} = \frac{\sum \frac{Q_{95} \text{ Microbacias do Rio Acre}}{\text{Área das microbacias}}}{\text{Número de microbacias}} \times A_D \quad (\text{Eq. 28})$$

$$Q_{95,S} \text{ Redenção} = \frac{\sum \frac{Q_{95,S} \text{ Microbacias do Rio Acre}}{\text{Área das microbacias}}}{\text{Número de microbacias}} \times A_D \quad (\text{Eq. 29})$$

$$Q_{mld} \text{ Redenção} = \frac{\sum \frac{Q_{mld} \text{ Microbacias do Rio Acre}}{\text{Área das microbacias}}}{\text{Número de microbacias}} \times A_D \quad (\text{Eq. 30})$$

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme a metodologia apresentada, os resultados encontrados são expostos inicialmente separados e na ordem proposta sendo, após, discutidos em conjunto.

3.3.1 QUANTIFICAÇÃO DA DEMANDA

A quantificação da demanda de água, tanto atual quanto futura, para o município de Bujari foi realizada com base nas projeções populacionais apresentadas na Tabela 04. A projeção populacional foi feita utilizando três métodos: aritmético, geométrico e logístico, sendo que a curva logística foi descartada devido à sua complexidade e à semelhança dos resultados com os obtidos pela curva geométrica, que é mais prática e adequada.

Tabela 4 – Projeção do Crescimento Populacional do Município de Bujari - Acre

Nomenclatura	Ano	População Medida (Censo)	População Estimada		
			Aritmética	Geométrica	Logística
P ₀	2000	5826	-	-	-
P ₁	2010	8471	-	-	-
P ₃	2020	-	12272	-	-
P ₂	2022	12917	-	-	-
-	2024	-	13562	13887	14214
-	2034	-	16785	19942	20431
-	2044	-	20008	28639	29119
-	2055	-	23231	41127	41019
-	2064	-	26454	59062	56877

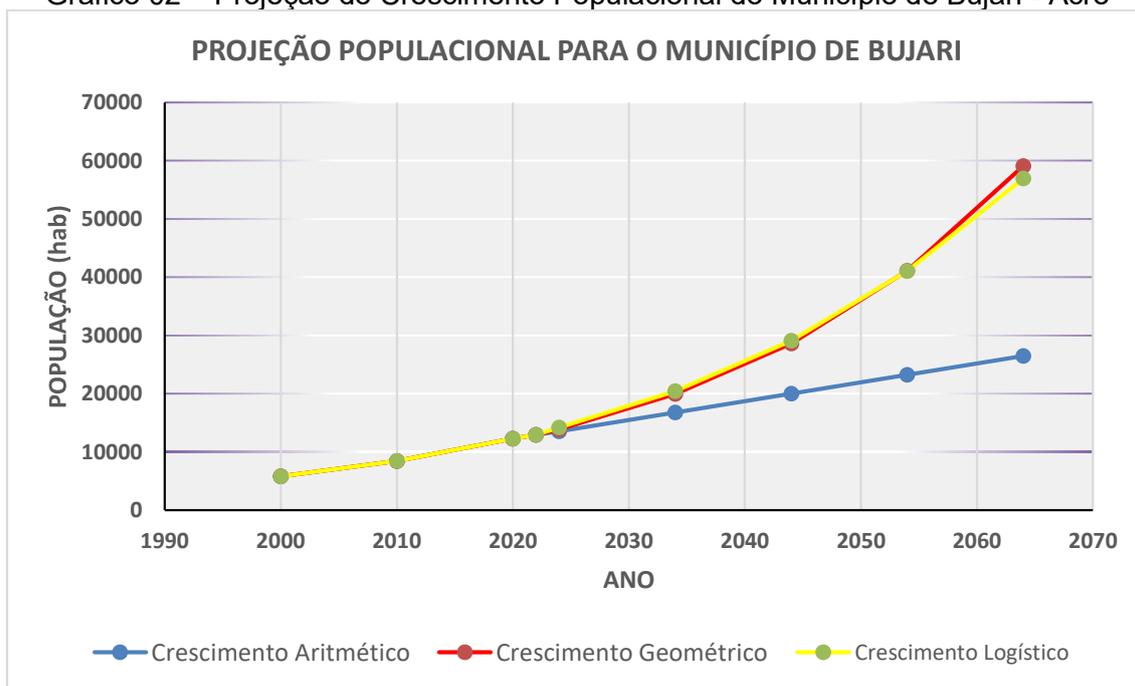
Fonte: O Autor, 2024.

Observa-se que, para a curva de crescimento logístico se faz necessário iguais intervalos de tempo. Logo, utilizou-se a curva linear e estabeleceu-se a população para o ano de 2020. Utilizando os anos de 2000, 2010 e 2020 projetou-se o crescimento populacional através da curva logística e obteve-se curva semelhante à da projeção de

crescimento geométrica com quantitativo de população bem distante da população de saturação. Logo, dispensou-se tal resultado em função da necessária adequação inicial e da maior complexidade de cálculo comparada a projeção geométrica que fornece resultado semelhante e mais prático.

O Gráfico 02 a seguir ilustra as projeções de crescimento populacional para Bujari, demonstrando o aumento previsto da população ao longo das próximas décadas.

Gráfico 02 – Projeção do Crescimento Populacional do Município de Bujari - Acre



Fonte: O Autor, 2024.

Como é percebido, os cenários são próximos para o ano de 2024 se diferenciando gradualmente conforme o avançar dos anos, distinguindo, assim, dois claros cenários para a projeção populacional.

Para calcular a demanda atual e futura de água para o Aeroporto de Rio Branco, utiliza-se a projeção de crescimento do movimento populacional, conforme apresentada na Tabela 05. A projeção é essencial para garantir que as futuras necessidades de abastecimento sejam atendidas de maneira sustentável, alinhando o crescimento da infraestrutura do aeroporto à capacidade hídrica disponível na região.

Para a quantificação da demanda de água, em consumo atual e futuro, para o Aeroporto de Rio Branco, tem-se a projeção do movimento populacional conforme pode ser visto na Tabela 05.

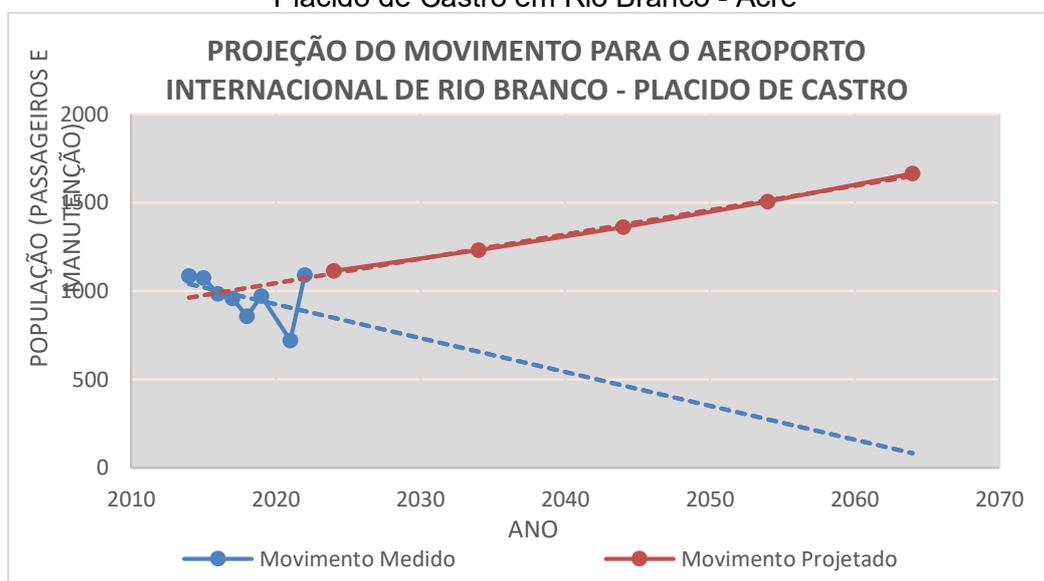
Tabela 5 – Projeção do Crescimento do Movimento para o Aeroporto Internacional Placido de Castro em Rio Branco - Acre

Ano	Movimento Medido (Diário)	Movimento Estimado (Diário)
2014	1086	-
2015	1075	-
2016	984	-
2017	959	-
2018	858	-
2019	972	-
2021	720	-
2022	1092	-
2024	-	1114
2034	-	1232
2044	-	1362
2054	-	1506
2064	-	1665

Fonte: O Autor, 2024.

A projeção do movimento medido está ilustrada no Gráfico 03, que apresenta as curvas de crescimento tanto do movimento atual quanto do estimado. Esse gráfico permite visualizar as tendências de aumento do fluxo no aeroporto, fornecendo uma comparação direta entre os dados medidos e as projeções calculadas.

Gráfico 03 – Projeção do Crescimento do Movimento para o Aeroporto Internacional Placido de Castro em Rio Branco - Acre



Fonte: O Autor, 2024.

As curvas do Gráfico 03 ilustram a distinção entre as projeções de crescimento para os dados existentes considerando e sem considerar o crescimento populacional do estado do acre, evidenciando a queda no movimento medido futuro do aeroporto, e, por isso, desconsiderada.

Com base nas projeções populacionais e no consumo per capita estabelecido, a demanda de água atual e futura para a Estação de Tratamento de Água (ETA) do Município de Bujari foi calculada, conforme apresentado nas Tabelas 06 e 07.

Tabela 6 – Demanda Aritmética por Água para a ETA do Município de Bujari – Acre

Demanda Aritmética							
Ano	População Município (hab) (M)	Per capita (l/hab/dia) (P_m)	População Aeroporto (pax) (A)	Per capita (l/pax/dia) (P_a)	Demanda (l/dia) (D)	Demanda (l/s) (D)	Demanda total (l/s) (Q_t)
2024	13562	144	1114	15	1969583	22,8	40,8
2034	16785		1232		2435488	28,2	50,4
2044	20008		1362		2901579	33,6	60,0
2054	23231		1506		3367876	39,0	69,7
2064	26454		1665		3834402	44,4	79,3

Fonte: O Autor, 2024.

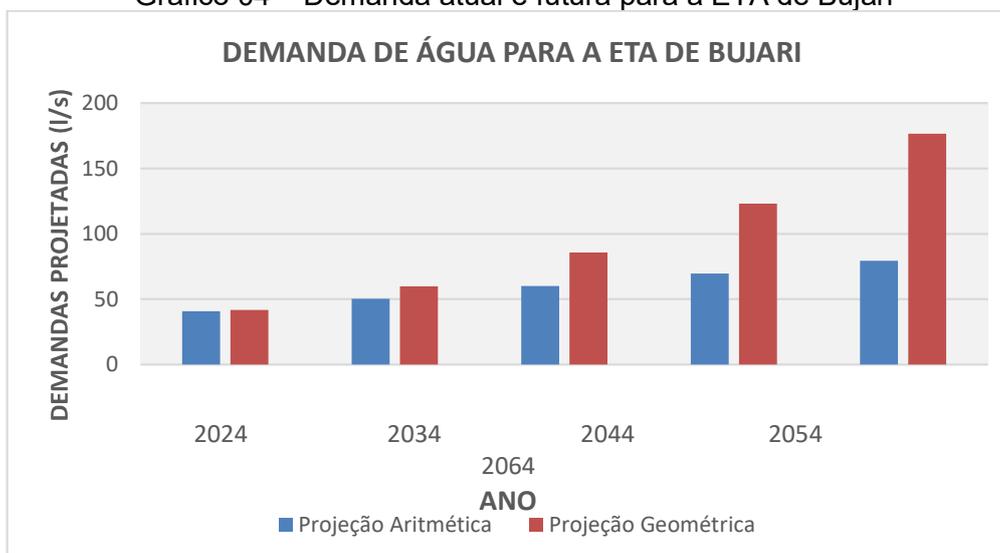
Tabela 7 – Demanda Geométrica por Água para a ETA do Município de Bujari – Acre

Demanda Geométrica							
Ano	População Município (hab) (M)	Per capita (l/hab/dia) (P_m)	População Aeroporto (pax) (A)	Per capita (l/pax/dia) (P_a)	Demanda (l/dia) (D)	Demanda (l/s) (D)	Demanda total (l/s) (Q_t)
2024	13887	144	1114	15	2016384	23,3	41,7
2034	19942		1232		2890163	33,5	59,8
2044	28639		1362		4144395	48,0	85,7
2054	41127		1506		5944923	68,8	123,0
2064	59062		1665		8529908	98,7	176,5

Fonte: O Autor, 2024.

Os cálculos indicam que a demanda atual de água está em torno de 42 l/s, podendo atingir até 177 l/s em cenários futuros mais críticos. Esses valores são cruciais para planejar adequadamente o abastecimento de água na região.

Gráfico 04 – Demanda atual e futura para a ETA de Bujari



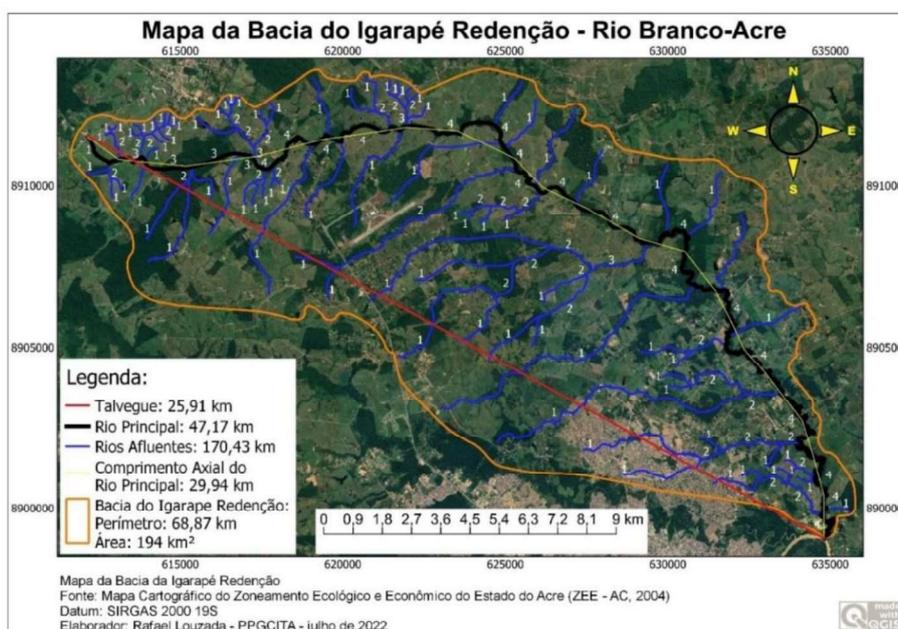
Fonte: O Autor, 2024.

Cabe ressaltar que o processo para estabelecimento da demanda, mesmo que considerando três métodos de cálculo, remontam a um cenário conservador, visto que não se considera uma redução nas perdas ao longo dos anos investigados, sendo aplicada a condição atual para os anos vindouros.

3.3.2 CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO IGARAPÉ REDENÇÃO

A Bacia do Igarapé Redenção faz parte da Amazonia Sul Ocidental, sendo uma sub-bacia da Bacia do Rio Acre, principal rio do município de Rio Branco e responsável pelo abastecimento de água da capital. A bacia está localizada na faixa 19S do Datum SIRGAS 2000 entre - 9° e - 10° Sul, conforme ilustrado na Figura 07.

Figura 07 – Mapa da Bacia do Igarapé Redenção – Rio Branco-Acre



Fonte: Os autores, 2024.

Geomorfologicamente, a bacia do Igarapé Redenção é composta por formas de relevo com topos convexos, esculpidas predominantemente em rochas sedimentares, com algumas evidências de controle estrutural. Apresenta vales pouco profundos e vertentes de declividade suave, entalhadas por sulcos e cabeceiras de drenagem de primeira ordem.

A bacia está sob total jurisdição do Estado do Acre, que regula o uso das águas desde sua nascente até a jusante. Segundo informações do Instituto de Meio Ambiente do Acre (IMAC), o processo de outorga para a retirada de água do Igarapé Redenção para abastecimento público ainda está em análise técnica, sendo que, até o momento, toda a água extraída ocorreu de maneira irregular. Na bacia, predominam pastagens

(70,2%), seguidas por cobertura vegetal densa (15,1%) e áreas urbanas (14,7%), conforme Araújo, Medeiros e Serrano (2022).

Os cálculos dos índices morfométricos da bacia do Igarapé Redenção foram realizados conforme descrito na metodologia, resultando no quadro abaixo:

Quadro 2 – Resumo das Características Morfométrica da Bacia do Igarapé Redenção, Rio Branco – Acre

Ordem	Elemento	Dimensão
a	Perímetro da bacia (P)	68,87 km
b	Área da bacia (A)	194,00 km ²
c ₁	Comprimento do rio principal (L_{RP})	47,17 km
c ₂	Comprimento dos rios Afluentes (L_{RA})	170,43 km
d	Comprimento total dos cursos d'água (L_{TR})	217,60 km
e	Comprimento do Talvegue (L_t)	25,91 km
f	Comprimento axial da bacia (L_A)	29,94 km
g	Coeficiente de Compacidade (kc)	1,38
h	Fator de Forma (K_f)	0,22
i	Índice de circularidade (IC)	0,51
j ₁	Densidade de drenagem (Dd)	1,12 km/km ²
j ₂	Densidade de drenagem do Rio Principal ($Dd1$)	0,24 km/km ²
j ₃	Densidade de drenagem dos Rios Afluentes ($Dd2$)	0,88 km/km ²
k	Número de cursos d'água (N_n)	110
l	Sinuosidade do curso principal (Sin)	1,82 km/km
m	Extensão média do escoamento superficial (l)	0,22 km
n	Relação de Bifurcação (Rb)	4,42
t	Comprimento médio dos canais (L_{mc})	1,98 km

Fonte: O autor, 2024

A bacia do Igarapé Redenção, com uma área de 194 km², é relativamente pequena em comparação com outras bacias do estado, como a do Igarapé São Francisco e do Rio Acre. O comprimento do rio principal (47,17 km) corresponde a mais de 50% do perímetro da bacia, evidenciando uma sinuosidade considerável (1,82 km/km), que equivale a mais do que uma extensão e meia do rio principal dentro da bacia. Essa característica é significativa, pois indica que o rio principal tem muitas curvas, classificando-o como um canal meandrante.

Quanto à forma da bacia, o coeficiente de compacidade (kc) de 1,38 sugere uma forma não circular, comparável a uma pena, o que indica uma tendência mediana à ocorrência de enchentes. O fator de forma (K_f) de 0,22 reflete uma bacia que não é extremamente estreita nem alongada, sugerindo menor propensão a enchentes em comparação com bacias de igual tamanho, mas com maior fator de forma. No mapa da

bacia, podem-se identificar vários pontos de contribuição ao longo do rio principal, o que ajuda a dispersar o acúmulo rápido de água, reduzindo a possibilidade de enchentes.

Quanto a classificação do sistema de drenagem, obteve-se a ordem máxima de número 4, contando com 110 cursos d'água e índice 4,42 de relação de bifurcação. É notório que a maioria dos cursos são de ordem 1, possuindo características de escoamento efêmeros à um máximo intermitente em função da elevada extensão média de escoamento superficial de 220 m, reforçados, ainda, com o baixíssimo índice de densidade de drenagem da ordem de 0,85 km/km² para toda a bacia. Se comparado ao tipo de solo argiloso de baixa absorção e com pouca profundidade, conforme visto anteriormente, entende-se a formação da lâmina d'água e seu escoamento criando redes de drenagem efêmeras.

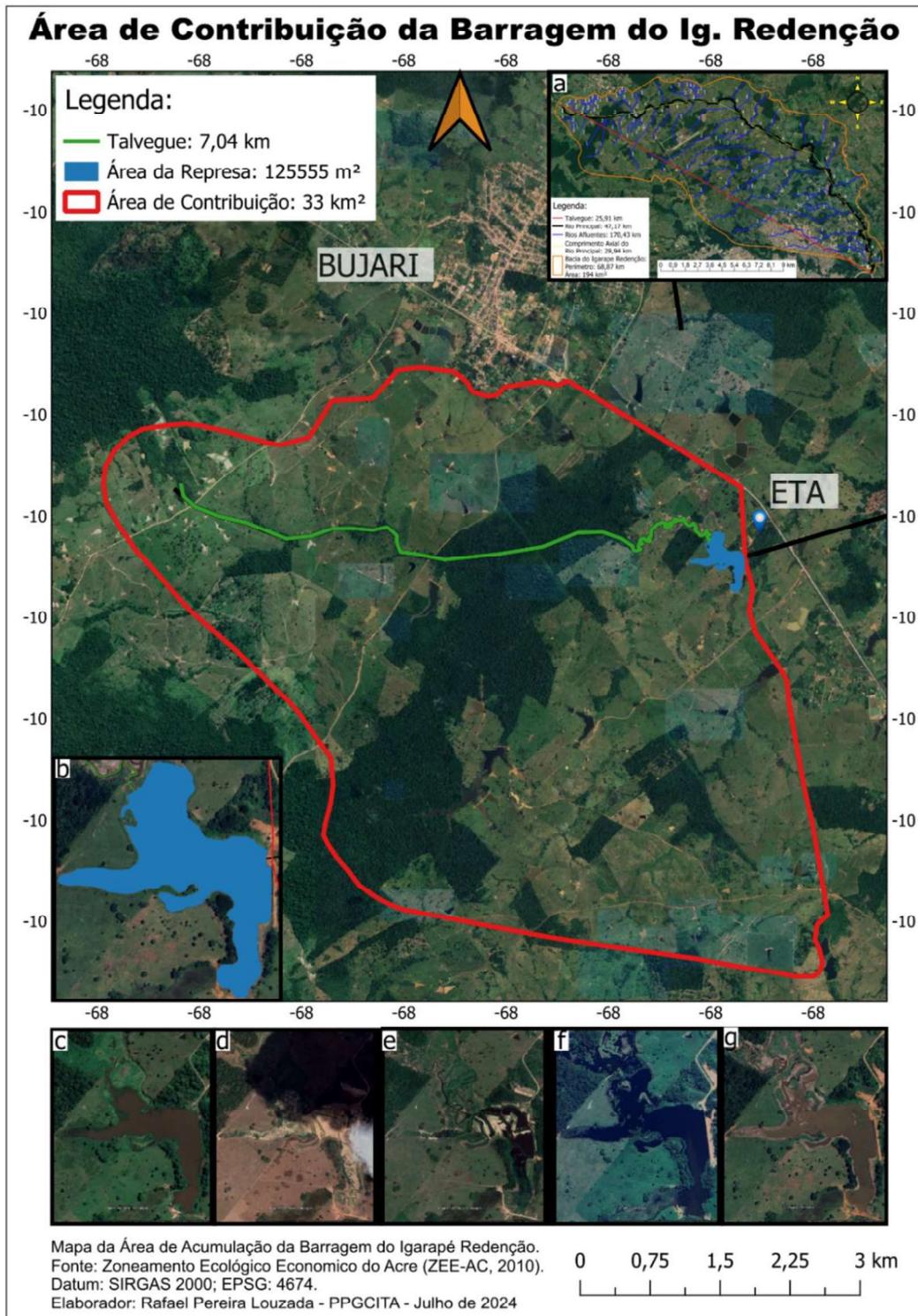
Apesar de ser uma bacia menos arredondada, com seus já citados 47,17 km de extensão do rio principal, apresentou apenas 25,91 km de talvegue e 29,94 km de comprimento axial, demonstrando como característica a presença de muitas curvas classificando o canal fluvial como do tipo meandrante.

Já para a área de acumulação do açude, onde ocorre a extração de água, foi produzido o mapa ilustrado na Figura 08.

A região de drenagem até o ponto de represamento cobre uma área de 33 km² e apresenta uma declividade média de 23 metros. O açude possui uma área superficial de 125.555 m², o que equivale a menos de 0,5% da área total de drenagem, e uma profundidade média de 2,04 metros, resultando em uma capacidade de armazenamento aproximada de 256.132,2 m³. As variações sazonais no volume de água disponível são evidentes nas imagens de satélite, demonstrando a influência das estações chuvosa e seca na disponibilidade hídrica.

O solo da área de acumulação é predominantemente argiloso e de baixa infiltração, com cobertura vegetal composta por mata e pastagens, sem habitações. O curso d'água principal é alimentado por diversos canais efêmeros, contribuindo para a complexidade da gestão dos recursos hídricos na bacia.

Figura 08 – Mapa da Área de Contribuição da Represa da Bacia do Igarapé Redenção em Rio Branco-Acre



Sobre a Imagem: a – Bacia do Igarapé Redenção; b – Represa para acumulação e extração de água; Imagens de satélite da Represa: c – julho de 2021; d – outubro de 2022; e – dezembro de 2022; f – junho 2023; g – março de 2024.

Fonte: Os autores, 2024.

3.3.3 QUANTIFICAÇÃO DA DISPONIBILIDADE

A quantificação da disponibilidade de água pela regionalização de vazão foi realizada utilizando as vazões mínimas de sete dias para um período de retorno de 10 anos ($Q_{7,10}$) do Rio Acre, calculadas pela distribuição Logpearson III, que apresentou maior consistência nos resultados. As vazões mínimas estatísticas utilizadas para o cálculo estão apresentadas na Tabela 10.

Tabela 10 – Vazão Mínima Estatística ($Q_{7,10}$) para a Bacia do Rio Acre

POSTOS	ASSIS BRASIL	BRASILÉIA	XAPURI	RIO BRANCO	BOCA DO ACRE
VAZÃO (m ³ /s)	0,65	11,86	18,23	23,40	38,92

Fonte: O Autor, 2024.

Dessa maneira, aplicando-se os dados na Eq. 27, tense que:

$$Q_{7,10 \text{ Ig. Red}} = \frac{\sum \left(\frac{0,65}{3760} + \frac{11,86}{7020} + \frac{18,23}{82,70} + \frac{23,40}{23500} + \frac{38,92}{34400} \right) \frac{m^3/s}{km^2}}{5} \times 33 \text{ km}^2 = 0,041 \text{ m}^3/s$$

$$Q_{7,10 \text{ Ig. Redenção}} = 41,0 \text{ l/s} \quad (\text{Eq. 31})$$

Para a quantificação da disponibilidade de água, são apresentadas as vazões mínimas de referência (Q_{95}) para o Rio Acre seguida de sua regularização.

Tabela 11 – Vazão Mínima de Referência (Q_{95}) para a Bacia do Rio Acre

POSTOS	ASSIS BRASIL	BRASILÉIA	XAPURI	RIO BRANCO	BOCA DO ACRE
VAZÃO (m ³ /s)	1,47	16,01	26,04	34,51	59,11

Fonte: O Autor, 2024.

Dessa maneira, aplicando-se os dados na Eq. 28, tense que:

$$Q_{95 \text{ Ig. Red}} = \frac{\sum \left(\frac{1,47}{3760} + \frac{16,01}{7020} + \frac{26,04}{82,70} + \frac{34,51}{23500} + \frac{59,11}{34400} \right) \frac{m^3/s}{km^2}}{5} \times 33 \text{ km}^2 = 0,059 \text{ m}^3/s$$

$$Q_{95 \text{ Ig. Redenção}} = 59,0 \text{ l/s} \quad (\text{Eq. 32})$$

Para a quantificação da disponibilidade de água, são apresentadas as vazões mínimas de referência para o período seco ($Q_{95,S}$) para o Rio Acre seguida de sua regularização.

Tabela 12 – Vazão Mínima de Referência ($Q_{95,S}$) para a Bacia do Rio Acre

POSTOS	ASSIS BRASIL	BRASILÉIA	XAPURI	RIO BRANCO	BOCA DO ACRE
VAZÃO (m ³ /s)	0,76	13,18	21,31	28,85	50,87

Fonte: O Autor, 2024.

Dessa maneira, aplicando-se os dados na Eq. 29, tense que:

$$Q_{95,S Ig. Red} = \frac{\sum \left(\frac{0,76}{3760} + \frac{13,18}{7020} + \frac{21,31}{82,70} + \frac{28,85}{23500} + \frac{50,87}{34400} \right) \frac{m^3/s}{km^2}}{5} \times 33 km^2 = 0,049 m^3/s$$

$$Q_{95,S Ig. Redenção} = 49,0 l/s \quad (Eq. 33)$$

Para a determinação do indicador de retirada durante a realização do cálculo do balanço hídrico, conforme avaliação da ONU, são apresentadas as vazões médias de longa duração (Q_{mld}) para o Rio Acre. seguida de sua regularização.

Tabela 13 – Vazão Média de Longa Duração (Q_{mld}) para a Bacia do Rio Acre

POSTOS	ASSIS BRASIL	BRASILÉIA	XAPURI	RIO BRANCO	BOCA DO ACRE
VAZÃO (m ³ /s)	54,71	117,25	206,15	376,85	681,47

Fonte: O Autor, 2024.

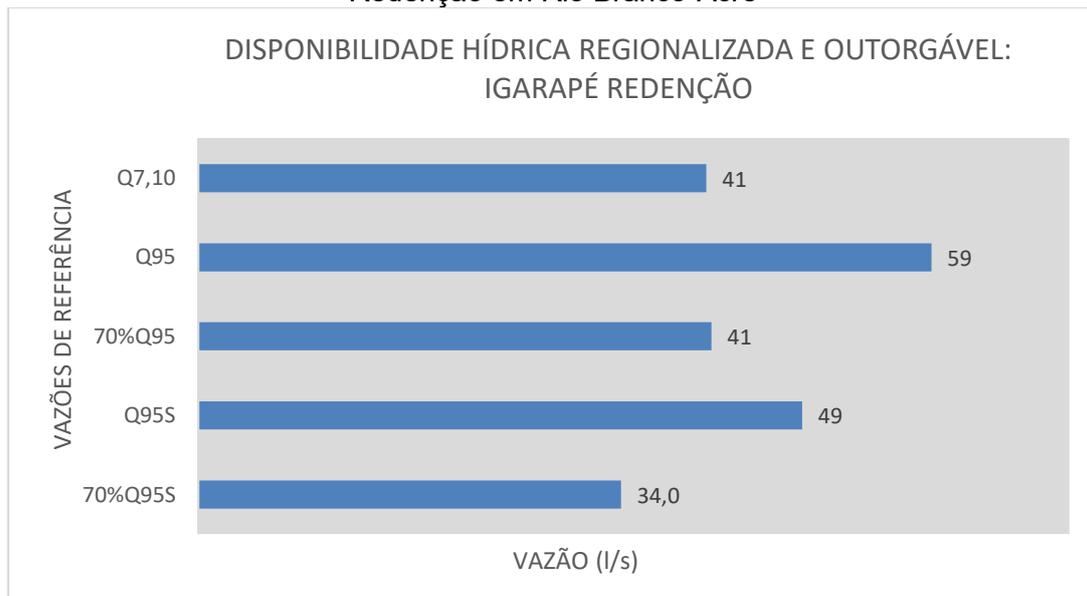
Dessa maneira, aplicando-se os dados na Eq. 30, tense que:

$$Q_{mld Ig. Red} = \frac{\sum \left(\frac{54,71}{3760} + \frac{117,25}{7020} + \frac{206,15}{82,70} + \frac{376,85}{23500} + \frac{681,47}{34400} \right) \frac{m^3/s}{km^2}}{5} \times 33 km^2 = 0,607 m^3/s$$

$$Q_{mld Ig. Redenção} = 607,0 l/s \quad (Eq. 34)$$

Assim, foi construído o Gráfico 06 com os resultados encontrados buscando facilitar a visualização e comparação entre os valores.

Gráfico 06 – Disponibilidade hídrica regionalizada e outorgável para o Igarapé Redenção em Rio Branco-Acre



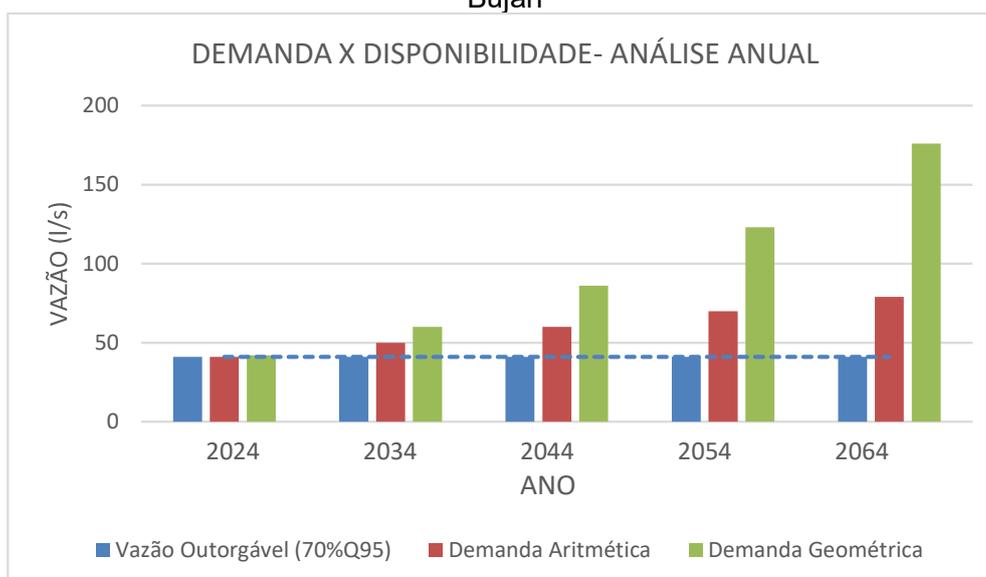
Fonte: O Autor, 2024.

Logo, é possível perceber as vazões disponíveis no Igarapé Redenção conforme cada abordagem. Nota-se a aplicação do coeficiente de 70% equivalente a máxima vazão outorgável adotada no Estado do Acre. Outro ponto importante é a coincidente igualdade entre a vazão mínima outorgável Q_{95} e a $Q_{7,10}$ que apresentaram vazão de 41 l/s. Isso significa que a máxima vazão anual outorgável passível de retirada equivale à menor vazão em sete dias consecutivos com um período de retorno de dez anos. Tal ponto demonstra que a disponibilidade hídrica não é elevada para o Igarapé Redenção, alertando não haver grande disponibilidade, pois o valor disponível para extração em 95% do tempo equivale a nenhuma reposição durante sete dias seguidos.

A situação fica pior ainda quando considerada a vazão mínima outorgável de referência para o período de seca ($Q_{95,S}$). Seu valor é inferior ao valor da $Q_{7,10}$ demonstrando que durante os meses de junho a novembro a disponibilidade de água pode ser baixíssima.

Conforme apresentado no início deste estudo, a análise dos parâmetros foi realizada para uma situação de demanda mais favorável e outra menos favorável. Também se procedeu com olhar sobre um período de disponibilidade anual e de disponibilidade semestral de água, considerando o período de seca e uma vazão outorgável. Assim, tem-se os resultados para a análise demanda versus disponibilidade anual:

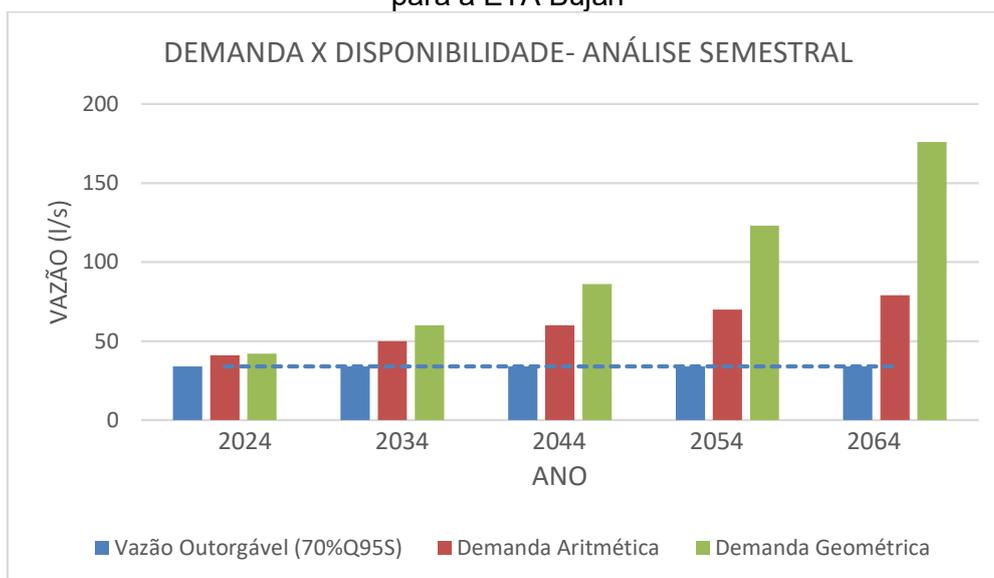
Gráfico 07 – Análise demanda *versus* disponibilidade anual atual e futura para a ETA Bujari



Fonte: O Autor, 2024.

Tem-se os resultados para a análise demanda versus disponibilidade semestral, considerando o semestre seco:

Gráfico 08 – Análise demanda *versus* disponibilidade do semestre seco atual e futura para a ETA Bujari



Fonte: O Autor, 2024.

Pode-se perceber, nos Gráficos 07 e 08, que apenas no ano de 2024 a disponibilidade é suficiente para atender a demanda. Conforme há o aumento da demanda, com o passar dos anos, maior se torna a distância entre os quantitativos e mais difícil será para atender à população.

São apresentados, também, os resultados da avaliação de criticidade do volume extraído frente a disponibilidade estabelecido pela ONU.

Quadro 5 – Análise da Criticidade do Abastecimento Anual pelo padrão da ONU

Bacia do Igarapé Redenção	Disponibilidade Outorgável (l/s)		Demanda (l/s)	Balço Quantitativo (%)	Avaliação (ONU)
	Q_{mtd}		Retirada	I	
Demanda Aritmética - condição mais favorável	2024	607	41	7	Confortável
	2034		50	8	Confortável
	2044		60	10	Preocupante
	2054		70	12	Preocupante
	2064		79	13	Preocupante
Demanda Geométrica - condição menos favorável	2024	607	42	7	Confortável
	2034		60	10	Preocupante
	2044		86	14	Preocupante
	2054		123	20	Crítica
	2064		176	29	Crítica

Fonte: O autor, 2024

Percebe-se a análise de criticidade para a vazão média de longa duração diferindo das demais que demonstram um elevado nível de preocupação e, compreendendo que este resulta de uma média anual para uma região de elevada

amplitude chuvosa, tomou-se a Q_{mld} para os meses menos chuvosos (junho a novembro) e aplicou-se todo cálculo de regionalização para uma análise do indicador de disponibilidade e classificação de sua criticidade, conforme o padrão da ONU, considerando a retirada do ano de 2024, menor retirada prevista dentro da projeção. Assim, obteve-se o resultado seguinte:

Quadro 6 – Análise da Criticidade do Abastecimento para o semestre seco pelo padrão da ONU

Bacia do Igarapé Redenção		Disponibilidade Outorgável (l/s)	Demanda (l/s)	Balanço Quantitativo (%)	Avaliação (ONU)
		Q_{mld}	Retirada	I	
2024	Junho	207	42	20	Crítica
	Julho	123		34	Crítica
	Agosto	94		45	Muito Crítica
	Setembro	94		45	Muito Crítica
	Outubro	152		28	Crítica
	Novembro	379		11	Preocupante

Fonte: O autor, 2024

Assim, entende-se que o período chuvoso (dezembro a maio) apresenta elevados índices de chuva que elevam a média da vazão de longa duração, promovendo uma avaliação de criticidade falha para demandas anuais considerando a vazão de pequenos cursos d'água, como é o caso do Igarapé Redenção frente a análise das Unidades de Gestão de Recursos Hídricos que dividem todo o estado do Acre e estão avaliadas no PLERH.

Assim, fica claro que, para o Igarapé Redenção, todo o período de seca é, no mínimo, preocupante em relação ao seu balanço hídrico. E, como apresentado, já para o ano de 2024 tem-se uma retirada equivalente a 100% da demanda outorgável para a situação mais favorável, demonstrando que para os próximos anos a situação só tende a piorar se mantida sem intervenção.

3.4 CONCLUSÃO

Este estudo abordou a quantificação da demanda e da disponibilidade de água no município de Bujari, com foco na Bacia Hidrográfica do Igarapé Redenção, através de metodologias de projeção populacional e regionalização de vazão. Os resultados demonstram uma crescente demanda hídrica, tanto para o consumo da população quanto para o atendimento de demandas específicas, como as do Aeroporto Internacional de Rio Branco. A análise revelou que, apesar de haver, atualmente, disponibilidade hídrica suficiente para atender a demanda, o cenário futuro indica uma tendência preocupante de déficit hídrico, especialmente em períodos de seca.

A avaliação das vazões mínimas de referência, $Q_{7,10}$ e Q_{95} , evidenciou que a capacidade hídrica do Igarapé Redenção é limitada e já atinge níveis críticos de disponibilidade, especialmente considerando a vazão mínima de referência para o período seco ($Q_{95,s}$). Essa condição destaca a vulnerabilidade do sistema de abastecimento do município de Bujari, principalmente nos meses de menor precipitação (junho a novembro), onde a disponibilidade hídrica não atende satisfatoriamente às necessidades previstas.

A análise de criticidade, com base nos parâmetros da ONU, reforça a urgência de ações de gerenciamento e intervenção para assegurar a sustentabilidade do abastecimento de água em Bujari. Mesmo sob condições favoráveis, a demanda projetada para os próximos anos supera significativamente a disponibilidade hídrica, indicando um cenário de crescente vulnerabilidade para a segurança hídrica da região.

Diante do exposto, é imperativo o desenvolvimento de estratégias integradas que incluam a otimização do uso dos recursos hídricos, o controle de perdas no sistema de distribuição e a implementação de tecnologias para aumentar a eficiência no uso da água. A adoção de medidas de conservação e reuso, aliadas a políticas públicas que promovam a gestão sustentável dos recursos hídricos, são essenciais para mitigar os impactos das mudanças climáticas e assegurar o abastecimento adequado para a população e demais atividades econômicas da região.

Em resumo, este estudo ressalta a necessidade de intervenções imediatas e planejadas para o gerenciamento dos recursos hídricos no município de Bujari, com foco na resiliência frente aos desafios climáticos e na garantia de acesso sustentável à água para todos os seus usuários.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A GAZETA DO ACRE. **Seca de açude pode deixar população do Bujari sem água.** A Gazeta do Acre, Bujari, Acre, Brasil, 2010. Disponível em: <https://agazetadoacre.com/2010/09/noticias/geral/seca-de-acude-pode-deixar-populacao-do-bujari-sem-agua/>. Acesso em: 12 de dezembro de 2023.

ACRE. **Acre em números.** Rio Branco: Secretaria de Estado de Planejamento – SEPLAN, 2017. Disponível em: <https://seplan.ac.gov.br/bacias-e-dimensoes-da-rede-de-drenagem/>. Acesso em: 09 de janeiro de 2024.

ACRE. Agência Reguladora dos Serviços Públicos do Estado do Acre – AGEAC; **Relatório Técnico de Fiscalização 2022: abastecimento de água potável do município do Bujari;** Divisão Técnica De Saneamento Básico – DISAN; Bujari, 2022.

ACRE. Governo do Estado do Acre. **Caderno das Unidades de Gestão de Recursos Hídricos do Acre** / Secretaria de Estado do Meio Ambiente. – Rio Branco: SEMA, 2014. Disponível em: https://www.fundoamazonia.gov.br/export/sites/default/pt/.galleries/documentos/acervo-projetos-cartilhas-outros/Acre-VAAF-Caderno-Unid_Gestao_Recursos_Hidricos.pdf . Acesso em: 15 de dezembro de 2023.

ACRE. Governo do Estado do Acre. Programa Estadual de Zoneamento Ecológico Econômico do Estado do Acre. **Diagnóstico dos Tipos de Solos de Parte da Bacia do Rio Acre do Município de Rio Branco**. 2006.

ACRE. **Plano Estadual de Recursos Hídricos do Acre – Rio Branco**. Rio Branco: Secretaria de Estado de Meio Ambiente - SEMA. 2012.

ACRE. Secretaria de Estado de Meio Ambiente. **Recursos naturais: geologia, geomorfologia e solos do Acre**. ZEE/AC, fase II, escala 1:250.000. Rio Branco: SEMA Acre, 2010.

ACRE. Secretaria de Estado de Planejamento. **Comparativo de crescimento populacional**. [Rio Branco]: Secretaria de Estado de Planejamento, [s.d.]. Disponível em: <https://seplan.ac.gov.br/comparativo-do-crescimento-populacional-por-populacao-residente-e-taxa-de-crescimento-da-populacao/>. Acesso em: 10 de maio de 2024.

ACRE. Serviço de água e esgoto do estado do acre – SANEACRE; **Relatório de projeto: revitalização e melhorias no sistema de abastecimento de água e estrutura do Saneacre em Bujari – Acre**; Rio Branco, 2023.

ALVES, J. M. P.; CASTRO, P. T. A. **Influência de feições geológicas na morfologia da bacia do rio Tanque (MG) baseada no estudo de parâmetros morfométricos e análise de padrões de lineamentos**. Revista Brasileira de Geociências, v. 33, n. 2, p. 117-127, 2003.

ANA - Agência Nacional De Águas e Saneamento. **Catálogo de Metadados da ANA**; Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil: Demandas Hídricas Consuntivas. Brasília, 2016. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/4b9960a4-6436-43d7-9beb-bad256f090fc>. Acesso em: 20 de maio de 2024.

ANA - Agência Nacional De Águas e Saneamento. **Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH)**; Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN); Portal HidroWeb: Séries Históricas de Estações. 2024.

ARAUJO, L. M.; MEDEIROS, G. A.; SERRANO, R. O. P. **Morphometric analysis of the igarapé redemption water basin in rio branco, acre state, Brazil**. Journal of Engineering Research; Atena Editora; v. 2, n. 16, 2022. DOI: 10.22533/at.ed.3172162225077.

BAPTISTA, M.; CARDOSO, A. **Rios e Cidades: uma longa e sinuosa história**; rev. UFMG, Belo Horizonte, v. 20, n.2, p. 124-153, jul./dez. 2013. Disponível em: <https://www.ufmg.br/revistaufmg/downloads/20-2/05-rios-e-cidades-marcio-baptista-adriana-cardoso.pdf>. Acesso em 12 de maio de 2024.

BRASIL. **Lei Nº 9.433**, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e dá outras providências. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 1997.

BRASIL, J. **Sem água há 30 dias, moradores do Bujari (AC) fecham entrada da cidade em protesto.** G1, Acre, 2022. Disponível em: <https://g1.globo.com/ac/acre/noticia/2022/10/19/sem-agua-ha-30-dias-moradores-do-bujari-ac-fecham-entrada-da-cidade-em-protesto.ghtml>. Acesso em: 12 de dezembro de 2023.

BUJARI. **Sobre o Município: Formação Administrativa;** Gabinete do Prefeito | Secretaria Municipal de Planejamento; 2024. Disponível em: <https://www.bujari.ac.gov.br/paginas/munic%C3%ADpio>. Acesso em: 12 de dezembro de 2023.

CALIJURI, M. L.; CAMBRAIA NETO, A. J.; ALVES, H. O.; PASQUALINI, L. N.; GIRONDOLI, L. M.; SANTOS, M. S. V. **Reuso de água no Aeroporto Internacional Tancredo Neves, em Confins, MG.** Anais do XVII SBRH - SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2007. Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/19/12dcd6a3306bb81601ae51ef22383d71_cf92086e38198ec52fce8d07c52c99e7.pdf. Acesso em: 14 de maio de 2024.

CARARO, D. C.; ZUFFO, C. E. **Manejo e uso da água na Amazônia Ocidental.** Solos da Amazônia Ocidental: base da sustentabilidade agrícola e ambiental. Embrapa. Brasília, DF: Embrapa, 2021. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/222897/1/cpaфро-18554.pdf>. Acesso em: 12 de junho de 2024.

CAVALCANTE, L. M. **Aspectos geológicos do estado do Acre e implicações na evolução da paisagem.** Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2006.

CHRISTOFOLETTI, Antônio; **Geomorfologia;** São Paulo, Edgard Blucher, 2ª edição, 1980.

CPMR – Serviço Geológico do Brasil. **Bacia do Rio Acre- Características (2021).** Disponível em: https://www.cprm.gov.br/sace/acre_caracteristicas.php. Acesso em: 13 de abril de 2024.

DUARTE, A. F.; **As chuvas na bacia do Rio Acre e o fluxo das águas em rio branco, Amazônia Ocidental;** Departamento de Ciências da Natureza, Universidade Federal do Acre – UFAC; Anais: XIX Simpósio Brasileiro De Recursos Hídricos; Maceió, 2011. Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/81/c8017391399ce6ccfc8b0124c013173d_5af820af0fb87f4624e0c59f21f70646.pdf. Acesso em: 15 de abril de 2024.

FREIRE, M. T. M. **O consumo racional de água no Aeroporto Internacional de Salvador,** Bahia/Brasil, Dissertação (mestrado); Universidade Federal da Bahia. Escola Politécnica; Salvador, 2011. Disponível em: https://repositorio.ufba.br/bitstream/ri/15194/1/DissertacaoPEI_Thais%20Freire.pdf. Acesso em: 12 de maio de 2024.

GIATTI, L. L.; CUTOLO, S. A.; **Acesso à água para consumo humano e aspectos de saúde pública na Amazônia legal.** Ambiente & Sociedade. São Paulo; v. XV, n. 1, p. 93-109; jan.-abr. 2012.

GOMES, M. **Moradores de Bujari reclamam por falta de água; Na Via Parque não cai água há 6 dias.** AcreNews, 2021. Disponível em:

<https://acrenews.com.br/moradores-de-bujari-reclamam-por-falta-de-agua-na-via-parque-nao-cai-agua-ha-6-dias/>. Acesso em: 12 de dezembro de 2023.

GOMES, V. P.; PIQUERAS, F. D.; **The role of the amazon cooperation treaty for shared water management**. Actualidad Jurídica Ambiental, n. 53, 2016.

GPRH - Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos. **SisCAH 1.0 - Sistema Computacional para Análises Hidrológicas**. Viçosa, [s.d.]. (programa computacional) Disponível em: <http://www.gprh.ufv.br>.

IBGE. **Censo 2022: População e Domicílios**. Brasil, 2022. Disponível em <https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/>. Acesso em: 11 de agosto de 2023.

INFRAERO - Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária. **“Anuário Estatístico Operacional 2018”**. Brasília: INFRAERO; pág. 108; 2019. Disponível em: https://transparencia.infraero.gov.br/wp-content/uploads/2019/12/Anu%C3%A1rio_2018_PADD.pdf. Acesso em: 09 de maio de 2024.

INFRAERO - Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária. **“Relatório Ambiental 2005/2006”**. Brasília: INFRAERO. 38f. 2006

TRATA – Instituto Trata Brasil. **Estudo de perdas de água de 2024 (SNIS, 2022): desafios na eficiência do saneamento básico no Brasil**. Brasil, 2024. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2024/06/Estudo-da-GO-Associados-Perdas-de-Agua-de-2024-V2.pdf>. Acesso em: 20 de maio de 2024.

JORNAL ESTADO DE MINAS. **Recessão atinge voos domésticos no Brasil**. Estado de Minas Economia, Brasil, 2018. Disponível em: https://www.em.com.br/app/noticia/economia/2018/12/17/internas_economia,1013804/recessao-atinge-voos-domesticos-no-brasil.shtml#google_vignette. Acesso em: 12 de maio de 2024.

LEBRE, V. **Com aumento de 34%, fluxo no aeroporto de Rio Branco chega a quase 400 mil passageiros em 2022**. G1 Acre, Rio Branco, 2023. Disponível em: <https://g1.globo.com/ac/acre/noticia/2023/02/25/com-aumento-de-34percent-fluxo-no-aeroporto-de-rio-branco-chega-a-quase-400-mil-passageiros-em-2022.ghtml>. Acesso em: 12 de maio de 2024

MAGALHÃES, C. A. C., MORENO, J., & GALVÃO Jr., A. C. **Estimativa do consumo per capita em comunidades atendidas pela unidade de negócio do médio Tietê**. 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. João Pessoa. ABES – Anais. Rio de Janeiro, 2001. Disponível em: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/%20caliagua/brasil/i-061.pdf>. Acesso em: 15 março. 2024.

MOREIRA, M. C.; SILVA, D. D. **Análise de Métodos para Estimativa das Vazões da Bacia do Rio Paraopeba**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 19 n.2, pág. 313 a 324, 2014.

NASCIMENTO, A. **Moradores do Bujari têm racionamento de água após igarapé que abastece reservatório ficar abaixo de 2 metros**. G1, Acre, 2022. Disponível em: <https://g1.globo.com/ac/acre/noticia/2022/09/12/moradores-do-bujari-tem->

racionamento-de-agua-apos-igarape-que-abastece-reservatorio-ficar-abaixo-de-2-metros.ghtml. Acesso em: 12 de dezembro de 2023.

PENETRA, M. **Município acreano de Bujari sofre contingenciamento de água a partir de segunda**. Radio Agência, Brasília, Brasil, 2018. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/radioagencia-nacional/geral/audio/2018-07/municipio-acreano-de-bujari-sofre-contingenciamento-de>. Acesso em: 12 de dezembro de 2023.

QGIS. **Sistema de Informação Geográfica QGIS**. Associação QGIS, 2024. (programa computacional). Disponível em: <http://www.qgis.org>.

RODRIGUES, I. **Após seca severa em 2017, estudo dá oito soluções para crise hídrica em cidade no interior do Acre**. G1, Acre, Brasil, 2019. Disponível em: <https://g1.globo.com/ac/acre/noticia/2019/04/20/apos-seca-severa-em-2017-estudo-da-oito-solucoes-para-crise-hidrica-em-cidade-no-interior-do-acre.ghtml>. Acesso em: 12 de dezembro de 2023.

SALIS, H. H. C.; COSTA, A. M.; VIANNA, J. H. M.; SCHULER, A. E.; **Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do córrego do marinho, Sete Lagoas – MG**. Bol. Geogr., Maringá, v. 37, n 2, p. 186-201, 2019. Disponível em: <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/BolGeogr/article/view/36965>. Acesso em: 13 de março de 2024.

SILVA, G. N. **A influência do desmatamento na Amazônia sobre a pluviosidade da Região Sudeste e sua relação com a crise hídrica paulistana (2013-2016)**; 23ª Semana de Biologia, Unesp, 2017.

SILVA, Z. L. **“Verão e inverno amazônico”: perspectiva meteorológica e a percepção dos moradores do município de Manaus-AM**. 2022. Disponível em: https://tede.ufam.edu.br/bitstream/tede/8747/2/Disserta%C3%A7%C3%A3o_ZilmarSilva_PPGEOG.pdf. Acesso em: 15 de maio de 2024.

SIQUEIRA, I. S. **Variabilidade ambiental na região metropolitana de Belém**. Anais do X Colóquio Organizações, Desenvolvimento e Sustentabilidade. Universidade da Amazônia – UNAMA. v. 10, 2019. Disponível em: <http://revistas.unama.br/index.php/coloquio/article/view/1763>. Acesso em: 15 de maio de 2024.

SNIS – Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento. **Painel de Regionalização dos Serviços de Saneamento Básico no Brasil**; Estruturas de Regionalização de Água e Esgoto – Acre – Bujari; Indicadores de Água. Ano Base: 2022. Disponível em: <http://appsnis.mdr.gov.br/regionalizacao/web/mapa/index?id=1>. Acesso: 10 de dezembro de 2023.

SNIS – Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento. **Série Histórica**. Disponível em: <http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/>. Acesso em: 10 de dezembro de 2023.

TAMWING, D. S. **Disponibilidade hídrica no Rio Acre para fins de abastecimento de água**; Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Acre; Programa de Pós-graduação em Ciência, Inovação e Tecnologia para a Amazônia, Rio Branco, 2022.

TAMWING, D. S.; MONTEFUSCO, C. L. A.; SERRANO, R. O. P.; MESQUITA, A. A.; MOREIRA, J. G. V. **Caracterização do regime fluvial da bacia hidrográfica do rio**

Acre; Research, Society and Development, v. 10, n. 17, e93101724461, 2021, DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i17.24461>.

TUCCI, C. E. M. **Regionalização de vazões**. 1ª reimpressão da 1ª edição; Porto Alegre/RS: ABRH, 2017.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A.; **Hidrologia Aplicada**; São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975.

VON SPERLING, M. Princípios básicos do tratamento biológico de águas residuárias. Vol. 1. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Editora UFMG. 4a ed., 2011.

4. CONCLUSÕES GERAIS

O estudo sobre os desafios no abastecimento de água tratada em Bujari, Acre, no contexto da Amazônia Sul Ocidental, explicou que a escassez de água potável vai além da mera disponibilidade de recursos hídricos, abrangendo problemas de infraestrutura, gestão inadequada e desafios climáticos. Este trabalho, dividido em três capítulos, analisou o contexto atual, as metodologias aplicadas e as perspectivas futuras para o abastecimento de água na região, fornecendo insights valiosos que destacam a necessidade urgente de ações integradas e sustentáveis.

No primeiro capítulo, foi abordado o paradoxo da abundância de recursos hídricos na Amazônia Sul Ocidental em contraste com os desafios no acesso à água tratada em pequenos municípios. A análise enfatizou a importância de alinhar as iniciativas de acesso à água com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030, especialmente o ODS 6, que visa garantir água limpa e saneamento para todos. As limitações de infraestrutura e a falta de investimentos adequados foram destacados como barreiras críticas que necessitam de intervenções coordenadas entre governos, setor privado e sociedade civil para melhorar a qualidade de vida das populações locais.

O segundo capítulo focou na caracterização morfométrica da Bacia do Igarapé Redenção, que serve como principal fonte de abastecimento para o município de Bujari. A análise detalhada dos parâmetros morfométricos e a quantificação da demanda de água pelo modelo chuva-vazão revelaram uma discrepância significativa entre a capacidade atual de abastecimento e as projeções de demanda futura, principalmente em períodos de seca. Os resultados indicam que, sem melhorias significativas na infraestrutura e gestão, o sistema existente não será capaz de atender às necessidades crescentes da população, o que pode resultar em racionamento severo e comprometimento da saúde pública.

O terceiro capítulo apresentou a quantificação da disponibilidade de água utilizando modelos de regionalização de vazão, mostrando que as vazões mínimas durante o período seco são insuficientes para atender à demanda projetada. As análises demonstraram que, em anos futuros, a situação pode se agravar se nenhuma ação corretiva for tomada. A avaliação dos índices de criticidade de abastecimento conforme os padrões da ONU destacou que, mesmo em condições favoráveis, a disponibilidade hídrica não será suficiente para garantir o abastecimento contínuo e seguro para a população, especialmente durante os meses de seca severa.

Por fim, os resultados obtidos indicam que o município de Bujari e outras localidades semelhantes na Amazônia Sul Ocidental enfrentam desafios complexos e interconectados no que diz respeito ao abastecimento de água tratada. A combinação de uma infraestrutura inadequada, manejo insuficiente dos recursos hídricos e vulnerabilidades climáticas exigem uma abordagem integrada e multifacetada. Reforça-se a necessidade de investimentos robustos na ampliação e modernização das infraestruturas de abastecimento, implementação de práticas de gestão sustentável dos recursos hídricos e o fortalecimento das capacidades locais para lidar com as oscilações sazonais da disponibilidade de água.

É crucial que as políticas públicas, as iniciativas privadas e a sociedade civil trabalhem em conjunto para reverter o quadro atual, buscando não apenas soluções temporárias, mas estratégias de longo prazo que assegurem a resiliência do sistema de abastecimento de água em Bujari e em outros pequenos municípios da Amazônia. A concretização dos ODS, especialmente o ODS 6, dependerá de uma resposta coordenada que englobe educação, tecnologia, governança e um compromisso genuíno com a sustentabilidade ambiental e social.

5. SUGESTÕES DE AÇÕES

- a) Que o governo considere reduzir as perdas no sistema de distribuição que, conforme dados do SNIS, alcançam mais de 78% de perdas para o município de Bujari. Somente esta abordagem já prolongará a capacidade de atendimento do sistema em muitos anos.
- b) Que procedam com a elevação do sistema de barragem do Igarapé Redenção para maior acumulação de água. Contudo, deve-se levar em consideração a área alagada, devido a pouca diferença de nível da região e, também, dos efeitos da evapotranspiração, que será maior em virtude do aumento na área de superfície da barragem.
- c) Alterar o nível de fundo do açude de modo a rebaixá-lo, removendo o material assoreado e escavando mais o solo (baixando a cota de fundo) para que haja maior volume de água acumulado.
- d) A criação de novos açudes/tanques de reservação laterais que possam acumular a água excessiva escoada durante o período de cheias e auxiliar durante os períodos de menor precipitação.

- e) A identificação de nova bacia próxima ao município de Bujari com açude que possua algum volume disponível e com elevada capacidade de recuperação. Desse modo poder-se-á instalar uma ETA neste novo ponto de extração e aumentar a quantidade de água tratada inserida no sistema de distribuição.
- f) Escavação de poços para fornecimento de água em substituição da água potável para uso na manutenção e em serviços, como no sistema de descargas de repartições públicas, sistemas de manutenção de jardins, lavagem de veículos e reservas de emergência para combate a incêndios.
- g) Por ser uma região com elevada umidade ambiente, canalizar e utilizar a água de condensação de aparelhos condicionadores de ar em ambientes públicos ou de uso público com múltiplos aparelhos. A quantidade de água removida e despejada em solo poderia ser utilizada em aparelhos sanitários que apresentam elevado consumo por utilização.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH. **Gestão das Águas**. Ministério do Desenvolvimento Regional: Brasil: 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/politica-nacional-de-recursos-hidricos>. Acesso em: 08 de maio de 2023.

BORDALO, C. A. O paradoxo da água na região das águas: o caso da Amazônia brasileira. **Geosp** – Espaço e Tempo (Online), São Paulo, v. 21, n. 1, p. 120-137, abr. 2017. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/geosp/article/view/107531>. Acesso em: 06 de maio de 2023.

CAPELLARI, A.; CAPELLARI, M. B. **A água como bem jurídico, econômico e social: A necessidade de proteção das nascentes**. Cidades, Comunidades e Territórios (Online), Lisboa, v. 36, p. 1-13, jun. 2018. Disponível em: <https://revistas.rcaap.pt/cct/article/view/14263>. Acesso em: 05 de maio de 2023.

CONSELHO MUNDIAL DA ÁGUA. Juntos faremos a água uma propriedade global. **8º Fórum Mundial da Água**. Brasil: 2018. Disponível em: https://www.worldwatercouncil.org/sites/default/files/Official_docs/WWC_Brochure_PT.PDF>. Acesso em: 06 de maio de 2023.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. **Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SINGREH**. Brasil: 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/seguranca-hidrica/cnrh/cnrh/sistema-nacional-de-gerenciamento-de-recursos-hidricos>. Acesso em 10 de maio de 2023.

SILVA, G. N. **A influência do desmatamento na Amazônia sobre a pluviosidade da Região Sudeste e sua relação com a crise hídrica paulistana (2013-2016)**; 23^a Semana de Biologia, Unesp, 2017.