

Mapeamento de uso e qualidade das águas da bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas, Amazônia Oriental

A.C.S. Silva ^{a*}, F.C.L. Ferreira ^a, D.A. Vieira ^{ab}

^a Programa de Pós-graduação em Ciências Forenses da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (Unifesspa), Marabá (PA), Brasil

^b Departamento de Ciências Básicas e Sociais; Centro de Ciências Humanas, Sociais e Agrárias; Universidade Federal da Paraíba.

*Endereço de e-mail para correspondência: ana.carol.silva@unifesspa.edu.br. Tel.: +55-94-98110-3322.

Recebido em 03/12/2024; Revisado em 29/03/2025; Aceito em 16/02/2025

Resumo

O estado do Pará, inserido na maior bacia hidrográfica de água doce do mundo, destaca-se pela sua relevância ambiental e socioeconômica. A Bacia Hidrográfica do Rio Itacaiúnas (BHRI), localizada nesta região, enfrenta desafios grandes devido ao elevado desmatamento e ao uso intensivo do solo, impulsionados principalmente pelas atividades agropecuárias, minerárias e madeireiras. Embora existam áreas protegidas, o uso dos recursos hídricos ainda é mal compreendido, com discrepâncias notáveis entre o número de outorgas de lançamento e as captações de águas superficiais e subterrâneas, o que acarreta quantidades significativas de captações irregulares, favorecendo ao aumento da exploração ilegal dos recursos naturais e a contaminação hídrica. A gestão hídrica na região carece de estrutura adequada e integração eficiente. A aplicação de ciências forenses no estudo dos recursos hídricos da BHRI se apresenta como uma ferramenta indispensável para enfrentar os crimes ambientais na região. Técnicas como o mapeamento detalhado e a análise de dados permitem identificar áreas críticas, avaliar os impactos de atividades antrópicas, incluindo desmatamento ilegal, poluição e alterações no uso do solo, e fornecer informações precisas para a responsabilização de infratores. Os mapas gerados por esse estudo são extremamente importantes, pois não apenas apontam as regiões mais afetadas pelos crimes ambientais, mas também oferecem subsídios concretos para mitigar ou até mesmo saná-los. Essas evidências visuais e científicas podem orientar ações de fiscalização, conservação da biodiversidade e formulação de políticas públicas mais eficazes, promovendo uma gestão integrada e sustentável da BHRI.

Palavras-Chave: Ciências forenses, Recursos Hídricos, Outorgas, Crimes ambientais.

Abstract

The state of Pará, located in the largest freshwater river basin in the world, stands out for its environmental and socioeconomic relevance. The Itacaiúnas River Basin (BHRI), located in this region, faces major challenges due to high deforestation and intensive land use, driven mainly by agricultural, mining and logging activities. Although there are protected areas, the use of water resources is still poorly understood, with notable discrepancies between the number of release permits and the abstraction of surface and underground waters, which leads to significant amounts of irregular abstractions, favoring the increase in illegal exploitation of water resources. natural resources and water contamination. Water management in the region lacks adequate structure and efficient integration. The application of forensic sciences in the study of BHRI's water resources presents itself as an indispensable tool to combat environmental crimes in the region. Techniques such as detailed mapping and data analysis make it possible to identify critical areas, assess the impacts of human activities, including illegal deforestation, pollution and changes in land use, and provide accurate information to hold offenders accountable. The maps generated by this study are extremely important, as they not only point out the regions most affected by environmental crimes, but also offer concrete subsidies to mitigate or even remedy them. This visual and scientific evidence can guide inspection actions, biodiversity conservation and the formulation of more effective public policies, promoting integrated and sustainable management of the BHRI.

Keywords: Forensic sciences, Water Resources, Grants, Environmental crimes.

1. INTRODUÇÃO

A questão ambiental no Brasil é um foco importante de estudos e políticas públicas, visando conciliar a produção de bens e serviços com a conservação dos recursos naturais. Nesse contexto, entre outras demandas emergenciais da ONU, estão as mudanças climáticas, que chamam atenção para a variabilidade hidrológica e as causas do aquecimento global. A Pan-Amazônia, que abriga a maior floresta tropical e bacia hidrográfica do mundo, possui uma extensão territorial de 7,8 milhões de km², abrangendo territórios de nove países, incluindo o Brasil, que detém 61,9% dessa área. Área essa conhecida como Amazônia Legal, uma região economicamente significativa, inclui estados como Acre, Amazonas e Pará, onde vivem cerca de 23 milhões de pessoas [1].

A Amazônia se destaca internacionalmente por sua alta diversidade vegetal da região que é sustentada pela ciclagem de nutrientes do solo, adaptada às condições de temperatura e umidade locais, no século XXI a pressão global pela disponibilidade dos recursos naturais estratégicos para a manutenção do padrão de desenvolvimento e crescimento econômico exige iniciativas administrativas e políticas por parte dos governantes, para garantir a conservação e utilização dos recursos naturais [2].

No entanto, as queimadas e emissões de gases alteram drasticamente o clima e a vegetação. Em 2023, 70 mil hectares foram queimados no Pará, contribuindo para emissões significativas de CO₂, exacerbando a seca e intensificando emissões futuras devido à decomposição da biomassa queimada [3].

A bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas (BHRI), no Pará, é vital para a biodiversidade e a economia local, fornecendo água para abastecimento humano, agricultura, pecuária e indústrias. A gestão sustentável dessa bacia é essencial para a conservação ambiental e o bem-estar das comunidades locais. Pesquisas forenses podem ajudar a monitorar e combater crimes ambientais, como desmatamento ilegal e poluição, contribuindo para a preservação desse ecossistema crucial.

O estado do Pará, que detém cerca de 1,2 milhão de km² de extensão territorial, abriga aproximadamente 25% da Amazônia Legal, destacando-se como uma área chave para a conservação ambiental e o enfrentamento de crimes ambientais. Apesar de administrar um dos maiores estados da Amazônia brasileira, o Governo do Pará ainda não possui um entendimento completo sobre os recursos hídricos das bacias sob sua jurisdição. Dados do Sistema de Informação de Recursos Hídricos (SEIRH) revelam que os usos regularizados de recursos hídricos são ainda muito baixos nas sete regiões hidrográficas do estado [4].

A BHRI é caracterizada por sua rica diversidade de ecossistemas que incluem florestas tropicais, savanas e áreas úmidas. O rio Itacaiúnas e seus afluentes fornecem água para abastecimento humano, agricultura, pecuária e indústrias locais, sustentando a vida de milhares de pessoas e contribuindo para a economia regional. Além disso, a BHRI desempenha um papel crucial na preservação da biodiversidade, servindo como habitat para uma variedade de espécies vegetais e animais, incluindo endêmicas e ameaçadas de extinção como por exemplo, castanha do Pará, onça pintada e o peixe boi estão entre os mais conhecidos

Portanto, a proteção e o manejo sustentável dessa bacia são essenciais não apenas para o bem-estar das comunidades locais, mas também para a conservação do meio ambiente e da vida selvagem na região. Este trabalho tem como objetivo mapear a BHRI, estudando a gestão do uso e a qualidade dessas águas, fornecendo dados à ciência forense com o propósito de integrar as estratégias de monitoramento e proteção ambiental, promovendo uma abordagem mais eficaz e responsável na preservação desse ecossistema vital.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A crescente preocupação com a questão ambiental no Brasil e em diversos outros países têm levado a um aumento significativo de estudos focados na conciliação da produção de bens e serviços com a conservação dos recursos naturais. Na Pan-Amazônia, a importância da preservação ambiental é ainda mais acentuada devido à sua vasta extensão e biodiversidade, abrangendo mais de 7,8 milhões de km² e diversas nações. Com o Brasil detendo 61,9% desse território, a Amazônia Legal, que inclui o estado do Pará, é uma região de alta relevância ambiental e socioeconômica, abrigando aproximadamente 23 milhões de pessoas [3].

Dentro deste contexto, a BHRI destaca-se por sua diversidade de ecossistemas e pela importância dos seus recursos hídricos, vitais para o abastecimento humano, atividades agropecuárias, industriais e a preservação da biodiversidade.

A BHRI, uma sub-bacia localizada na região hidrográfica Tocantins-Araguaia, conforme a Secretaria Estadual de Meio ambiente e Sustentabilidade (SEMAS) abrange onze municípios na Amazônia oriental (FIGURA 1). Com uma área de drenagem que ultrapassa 42.000 km², ela é alimentada pelos principais rios Itacaiúnas (19.589 km²), Parauapebas (9.522 km²), Vermelho (7.208 km²), Cateté (3.657 km²), Tapirapé (2.663 km²) e Sororó, monitorados por oito estações hidrometeorológicas [5].

Localizada aproximadamente 600 km ao sul da linha do Equador, a BHRI se destaca pelo relevo variado, incluindo a Serra dos Carajás, onde altitudes variam de 600 m a 900

m, contrastando com áreas adjacentes que têm altitudes de 80 m a 300 m [6]. Esta área é predominantemente coberta por floresta tropical e canga, protegidas por Terras Indígenas (TI) e Unidades de Conservação (UCs), totalizando 11.700 km², cerca de um quarto da área da bacia. Essas áreas de proteção, no entanto, coexistem com atividades econômicas dominantes na BHRI, como mineração e agropecuária [6].

Diante desse cenário, a BHRI se torna um campo fértil para investigações ambientais e forenses, especialmente no contexto das práticas de exploração que podem comprometer a integridade dos ecossistemas locais. O uso de técnicas forenses pode ser aplicado para identificar e monitorar os impactos de atividades ilegais, como o desmatamento e a poluição de cursos d'água. Análises químicas de sedimentos e água, bem como a coleta de evidências de atividades ilícitas, podem oferecer *insights* valiosos sobre a saúde ambiental da bacia.

A BHRI apresenta um ciclo sazonal bem-marcado, com uma estação chuvosa que vai de novembro a maio e uma estação seca de junho a outubro. Durante a estação chuvosa, os índices de precipitação anual variam entre 1.800 a 2.300 mm, enquanto na estação seca os valores variam de 10 mm a, no máximo, 350 mm [6]. Esse padrão climático influencia não apenas a dinâmica hídrica da bacia, mas também as práticas econômicas e a conservação dos recursos naturais.

Nos últimos anos, a crescente exploração de recursos naturais na região da BHRI tem intensificado crimes ambientais de grande relevância, como o desmatamento ilegal, a extração mineral não autorizada, a contaminação de corpos hídricos por rejeitos e o uso irregular do solo em áreas protegidas. Esses crimes vêm causando danos significativos à biodiversidade, à qualidade da água e ao equilíbrio dos ecossistemas locais, além de impactarem diretamente as populações que dependem desses recursos.

A investigação forense também pode ajudar a traçar a relação entre as variações sazonais e os impactos de atividades humanas, permitindo que se identifiquem tendências de degradação ambiental em resposta às mudanças climáticas e às práticas econômicas. Ao integrar essas abordagens científicas, o estudo da BHRI poderá contribuir para a formulação de políticas públicas mais eficazes, voltadas para o manejo sustentável e a proteção dos ecossistemas, garantindo a preservação da biodiversidade e o bem-estar das comunidades locais.

Ao integrar a investigação forense nas questões ambientais, o estudo busca criar uma base sólida para intervenções efetivas e informadas, garantindo que a preservação ambiental se alinhe com as necessidades socioeconômicas da região. A relevância deste trabalho reside em fornecer dados essenciais que não apenas apoiarão o desenvolvimento de políticas públicas voltadas para o manejo sustentável dos recursos hídricos, mas

também promoverão a proteção dos ecossistemas e o bem-estar das comunidades locais.

2.1. Marco Nacional

A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), estabelecida pela Lei 9.433 de 08 de janeiro de 1997, representa o principal modelo de gestão dos recursos hídricos no Brasil, completando 27 anos em 2024. A PNRH adotou a bacia hidrográfica como unidade territorial para a implementação da política e a atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH). Segundo essa política, as águas são dominiais, com gestão compartilhada entre a União e os estados, conforme definido pela Constituição Federal de 1988, envolvendo a participação do Poder Público, usuários e comunidades [7].

O SINGREH é composto pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), a Agência Nacional de Águas (ANA), os Conselhos Estaduais e do Distrito Federal, os Comitês de Bacia Hidrográfica (CBH) e diversos órgãos públicos federal, estaduais, do Distrito Federal e municipais com responsabilidades relacionadas à gestão de recursos hídricos, além das Agências de Água.

O objetivo primordial do SINGREH é regular, controlar e informar para assegurar o fornecimento sustentável de água superficial e subterrânea para os diversos usos, garantindo quantidade e qualidade adequadas às gerações presentes sem comprometer os usos futuros. Isso inclui priorizar usos essenciais, promover o aproveitamento das águas pluviais e prevenir defesas contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais [8].

2.2. Marco Estadual

O estado do Pará estabeleceu a Política Estadual de Recursos Hídricos (PERH) e o Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SIGREH) por meio da Lei Estadual 6.381/2001, enquanto o Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SISEMA) foi regulamentado pela Lei nº 8.906, de 1º de janeiro de 2015. A Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Sustentabilidade (SEMAS) é o órgão gestor da PERH, conforme a Lei nº 8.633, de 19 de junho de 2018, publicada no Diário Oficial nº 33.641 de 20 de julho de 2018; e o Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH) foi regulamentado pelo Decreto nº 276, de 02 de dezembro de 2011.

A PERH do Pará segue as diretrizes estabelecidas pela PNRH. Esta legislação nacional prevê a implantação de cinco instrumentos de gestão: Plano de Recursos Hídricos; enquadramento dos corpos de água em classes conforme usos predominantes; outorga de direitos de uso de recursos hídricos; cobrança pelo uso de recursos hídricos; e Sistema

de Informações sobre Recursos Hídricos. Além desses, o Pará incluiu: compensação aos municípios; capacitação aos profissionais envolvidos; desenvolvimento tecnológico; e educação ambiental.

Em 19 anos de implementação da PERH, o estado implantou três desses instrumentos de gestão. Entre eles, a outorga de direitos de uso de recursos hídricos tem sido crucial para regularizar os usos de água no estado. A outorga é um instrumento técnico e administrativo que visa assegurar o acesso à água, controlando quantitativa e qualitativamente seu uso público. Ela permite o uso específico da água por um período determinado, sujeito à análise técnica e administrativa do Poder Público, respeitando os usos prioritários em situações de escassez e garantindo o acesso equitativo para múltiplos usos e usuários dentro da mesma bacia hidrográfica.

ordenada, responsável e conforme as necessidades da bacia hidrográfica [9]. A outorga é obrigatória para qualquer uso da água, seja para consumo humano, atividades produtivas ou usos não-consuntivos, como a navegação e a geração de energia [10].

A outorga de recursos hídricos no Brasil pode ser classificada conforme o tipo de uso a que se destina, sendo as principais categorias: uso consuntivo, uso não-consuntivo e uso temporário ou emergencial.

Outorga para Uso Consuntivo: Este tipo de outorga é concedido para usos que implicam no consumo ou alteração da qualidade da água, como o abastecimento público, a agricultura, a indústria e a produção de energia elétrica. Nesse caso, a água retirada não retorna ao ciclo hídrico de forma direta e total, o que exige um controle rigoroso sobre a quantidade e a qualidade da água extraída.

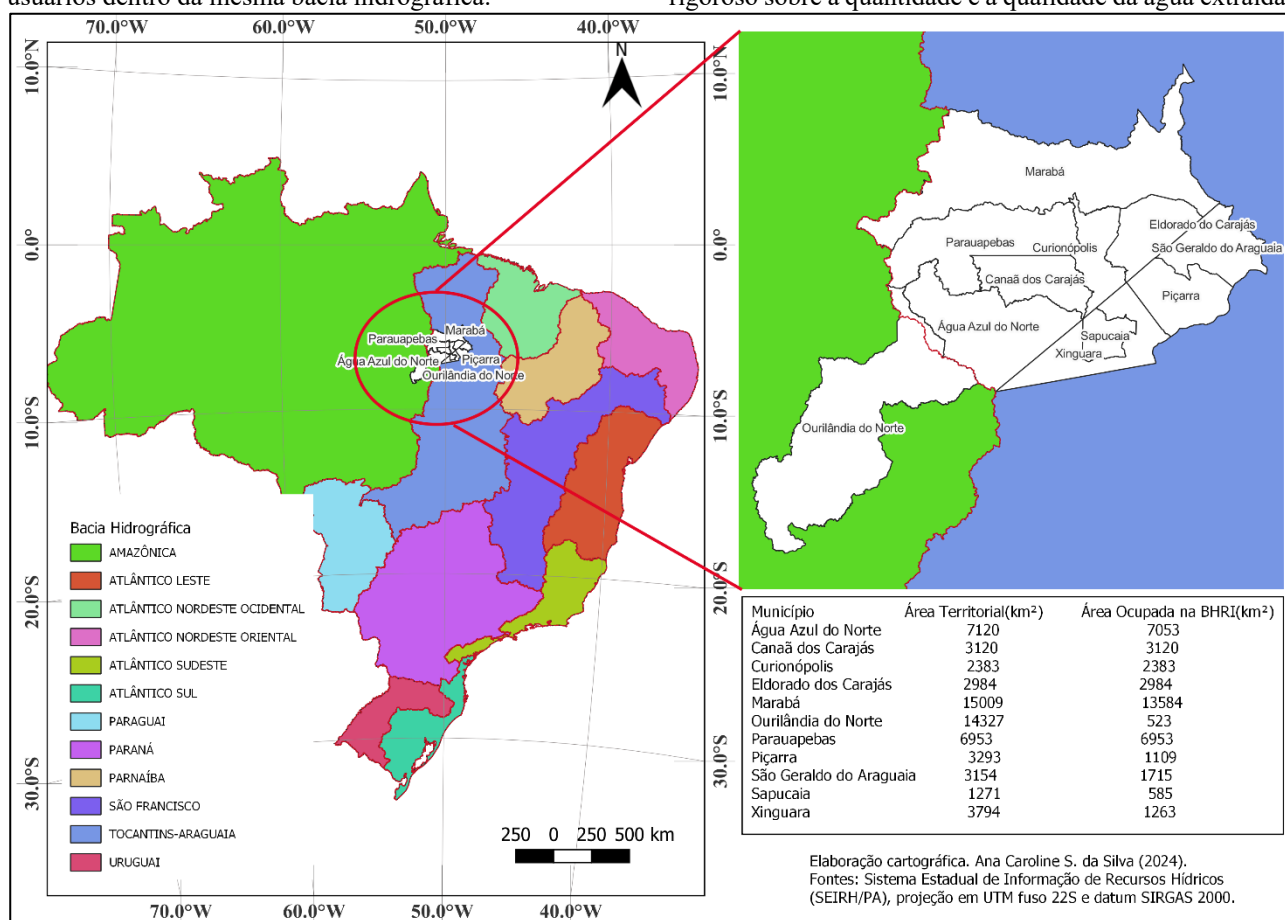


Figura 1. Mapa dos municípios do estudo na área da BHRI e seus limites territoriais.

2.3. Uso das Águas e Tipos de Outorgas

O uso dos recursos hídricos no Brasil, particularmente no estado do Pará, é regido por um conjunto de instrumentos legais e técnicos que visam garantir a gestão sustentável da água. Entre esses instrumentos, destaca-se a outorga, que é essencial para regular o direito de uso da água e assegurar que seu acesso seja feito de forma

A outorga para uso consuntivo deve considerar o impacto ambiental e a disponibilidade de água, de modo a evitar a escassez de recursos e garantir que os usos prioritários sejam atendidos, especialmente em períodos de crise hídrica [11].

Outorga para Uso Não-Consuntivo: A água destinada a usos não-consuntivos não sofre alterações permanentes em seu volume ou qualidade após o uso. Exemplos desse tipo de uso incluem o resfriamento industrial e atividades recreativas, como a navegação. Embora a água seja retirada temporariamente, ela retorna ao ciclo hídrico, muitas vezes

em boas condições, minimizando os impactos sobre o recurso [12].

Outorga para Uso Temporário ou Emergencial: Este tipo de outorga é destinado a situações excepcionais, como a necessidade de fornecer água para o atendimento de populações durante desastres naturais ou para atividades temporárias que não justifiquem a concessão de uma outorga permanente. A outorga temporária também é comum em projetos de curto prazo, como eventos ou construções de infraestrutura temporária [13].

As outorgas são fundamentais para garantir uma gestão eficiente e sustentável dos recursos hídricos, considerando a disponibilidade e a demanda por água, além da necessidade de proteger os ecossistemas aquáticos e atender às necessidades das populações. Elas desempenham um papel crucial na implementação de políticas públicas que busquem equilibrar o uso humano com a preservação ambiental, assegurando a qualidade e a quantidade de água para as gerações futuras. No contexto do estado do Pará, com sua grande extensão territorial e diversidade de atividades econômicas, a aplicação adequada das outorgas é essencial para a proteção dos recursos hídricos e a promoção de um desenvolvimento sustentável [14].

3. METODOLOGIA

3.1. Área de estudo

O estudo realizado na BHRI, localizada na Amazônia oriental, através do mapeamento das áreas de interferência natural e antrópica, utilizando curvas de nível e geotecnologias avançadas, é possível identificar os principais municípios que ocupam, sendo eles Água Azul do Norte, Canaã dos Carajás, Curionópolis, Marabá, Parauapebas e Xinguara como mostra na Figura 1.

Após a elaboração dos mapas essa metodologia permitirá identificar regiões vulneráveis e a interação entre as atividades econômicas predominantes, como a mineração e a agropecuária, e os ecossistemas protegidos que incluem Terras Indígenas e Unidades de Conservação. A integração das técnicas de mapeamento com ferramentas de geoprocessamento revela dados essenciais para a compreensão dos impactos ambientais, fornece subsídios para ações de mitigação, recuperação de áreas degradadas e conscientização da gestão sustentável dos recursos naturais da Amazônia oriental.

3.2. Coleta de dados

Foram utilizados dados do Sistema Estadual de Informação de Recursos Hídricos (SEIRH/PA) do estado do Pará até abril de 2024 para analisar os usos dos recursos hídricos. Utilizando ferramentas como Microsoft Excel

2016 e QGIS 3.22.3 para processamento de dados. Isso permitiu visualizar os principais usos dos recursos hídricos tanto na bacia como nas áreas dos municípios abrangidos por ela.

3.3. Elaboração dos Mapas

A elaboração dos mapas da Bacia Hidrográfica do Rio Itacaiúnas (BHRI) seguiu uma abordagem sistemática baseada em geotecnologias e metodologias forenses ambientais, permitindo a identificação detalhada das áreas de interferência natural e antrópica. Para isso, foram utilizadas imagens de satélite de alta resolução, Modelos Digitais de Elevação (MDE) e curvas de nível, proporcionando uma análise precisa da hidrografia e das atividades humanas na região [15].

Os dados espaciais foram processados no software QGIS 3.22.3, utilizando técnicas de classificação supervisionada para identificar diferentes padrões de uso e ocupação do solo, com destaque para as áreas de mineração, agropecuária e conservação ambiental. Além disso, a análise espacial permitiu mapear corpos d'água e identificar as interações entre os usos antrópicos e os ecossistemas protegidos.

A identificação dos pontos de outorga de uso da água foi realizada com base nos dados do SEIRH/PA até abril de 2024. Esses dados foram integrados ao banco geoespacial da bacia, possibilitando a visualização da distribuição e do tipo de uso dos recursos hídricos, classificando as outorgas em três categorias principais: uso consuntivo, uso não-consuntivo e uso temporário ou emergencial [16].

A ciência forense ambiental desempenhou um papel fundamental na identificação de possíveis irregularidades e impactos ambientais associados às outorgas. A análise geoquímica e o sensoriamento remoto forense permitiram detectar alterações na qualidade da água e padrões incomuns de uso, auxiliando na fiscalização de extrações ilegais e no monitoramento da conformidade com a legislação ambiental vigente [17].

A integração dessas ferramentas e metodologias reforça a importância da gestão sustentável dos recursos hídricos, fornecendo subsídios para ações de mitigação de impactos, recuperação de áreas degradadas e fortalecimento da governança ambiental na Amazônia oriental.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Uso da água na BHRI

Até abril de 2024, no estado do Pará, segundo os dados do SEIRH/PA, a SEMAS emitiu 13.247 títulos de outorgas para captação de água superficial e subterrânea, além de lançamento de efluentes de 95.078.169,75 m³/dia. Na

região hidrográfica Tocantins-Araguaia, que engloba a BHRI, foram concedidos 2.426 títulos, representando 18,07% do total (FIGURA 2), com uma vazão de 74.775.297,17 m³/ dia, o que equivale a 78,64% do total emitido. A BHRI, dentro dessa região, deteve 1.549 títulos de outorga, o que corresponde a 63,86 % do total, com uma vazão de 32.136.223,87 m³/ dia, representando 42,97% da captação subterrânea e superficial, assim como lançamento de efluente.

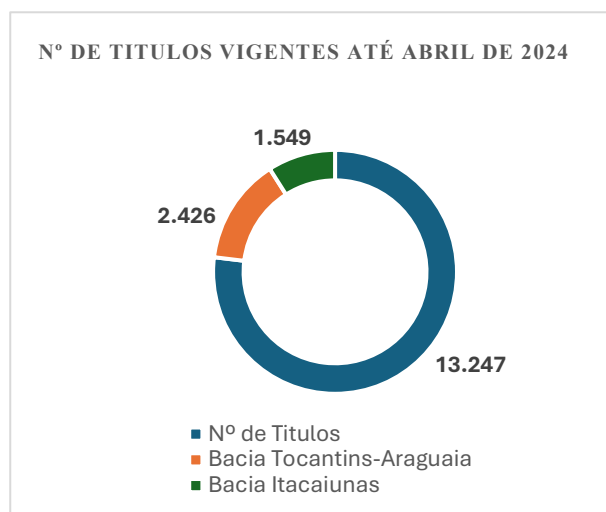


Figura 2. Número de títulos vigentes até abril de 2024.

As principais finalidades de uso outorgados foram:

Abastecimento humano; abastecimento público; dessedentação de animais; extração mineral; rebaixamento de nível de água; uso industrial; umectação de vias; e agricultura. A FIGURA 3 ilustra os pontos outorgados vigentes e sua distribuição ao longo da BHRI.

Os principais usos das demandas ativas relativas a outorgas subterrânea, superficial e de lançamento, vigentes até abril de 2024 na BHRI foram: abastecimento humano (ingestão e higiene) com 42,80%; logo após vem a industrial com 10,26%; lavagem de veículos com 7,04%; irrigação com 4,26%; abastecimento público com 3,03%; seguidos por outras tipologias que tiveram seu percentual mais baixo. Constatou-se também que a vazão correspondente a 97,69% se refere ao rebaixamento de nível de água.

4.2. Limitação das outorgas dentro do contexto atual dos municípios

A BHRI abrange onze municípios que juntos possuem aproximadamente 800.000 habitantes e um Produto Interno Bruto (PIB) de cerca de R\$ 262,905 bilhões [4]. A distribuição territorial desses municípios em relação à bacia é a seguinte: Marabá (32,8%), Água Azul do Norte (17%), Parauapebas (16,8%), Canaã dos Carajás (7,5%), Eldorado dos Carajás (7,2%), Curionópolis (5,7%), São Geraldo do Araguaia (4,1%), Xinguara (3%), Piçarra (2,7%), Sapucaia (1,4%) e Ourilândia do Norte (1,2%) [15]

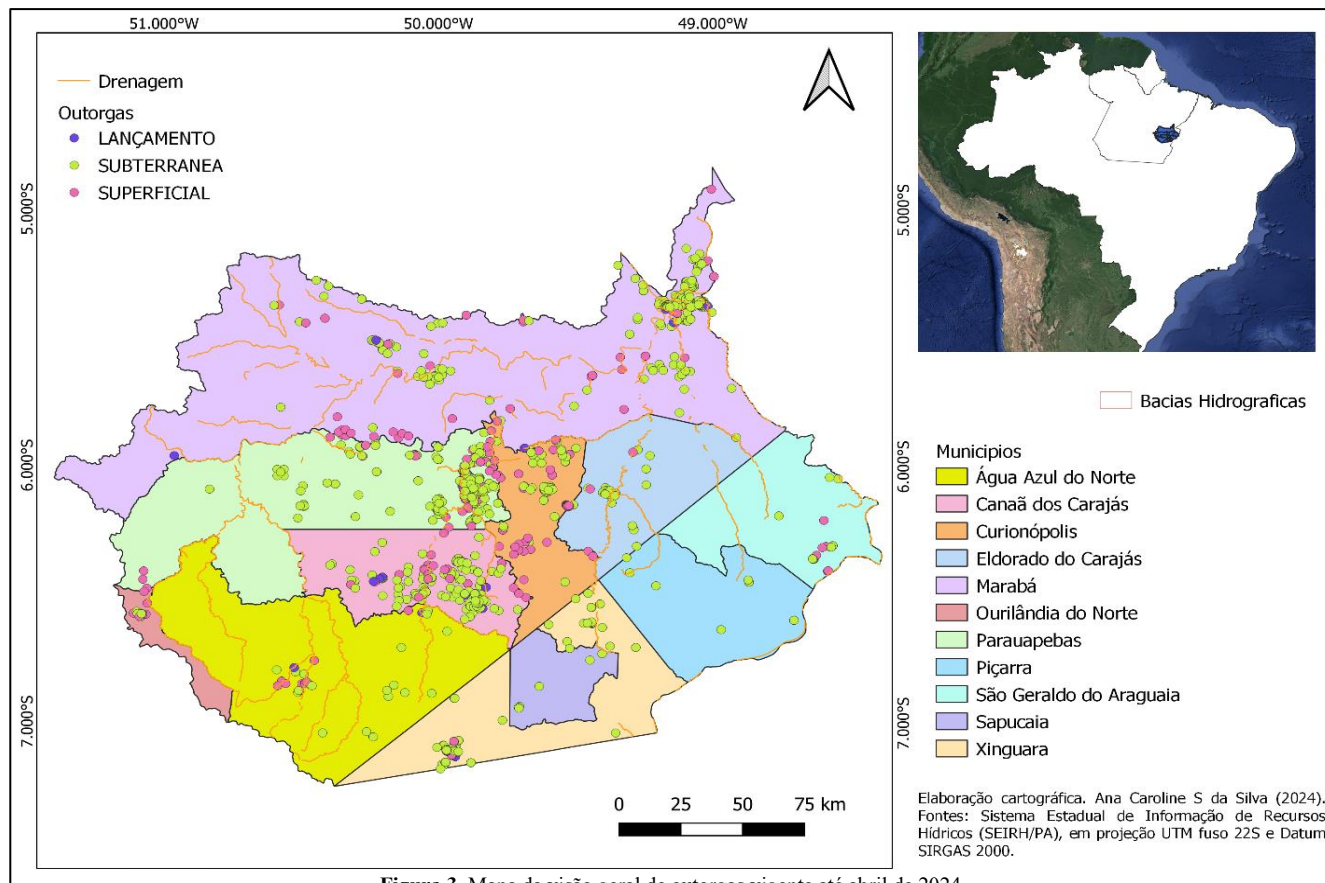


Figura 3. Mapa da visão geral de outorgas vigente até abril de 2024.

e suas outorgas vigentes são ilustradas na **FIGURA 4**.

Em abril de 2024, entre os municípios da BHRI, os que se destacaram pelo número de títulos vigentes foram Parauapebas com 30,73 % (476 títulos), Marabá com 29,12% (451 títulos) e Canaã dos Carajás com 16,85% (261 títulos). Em relação à vazão total outorgada na bacia, Canaã dos Carajás apresentou a maior parcela, com 51,58%.

Entre os principais usos concedidos na BHRI, destacam-se o abastecimento humano (164), a indústria (61), a lavagem de veículos (40) e o rebaixamento de nível

de água (21). Entre esses usos, o município de Parauapebas respondeu por 39,63% das concessões para abastecimento humano e 72,5% para lavagem de veículos, Marabá por 36,06% para a indústria e Curionópolis por 57,14% para rebaixamento de nível de água.

Quanto à distribuição por finalidade, o município de Marabá foi responsável por 38,76% dos títulos de abastecimento humano e 34,59% dos de uso industrial. Parauapebas respondeu por 28,51% dos títulos para uso abastecimento humano e 31,45% para uso Industrial, enquanto Canaã dos Carajás e Parauapebas tiveram 35,71% dos títulos de rebaixamento de nível de água.

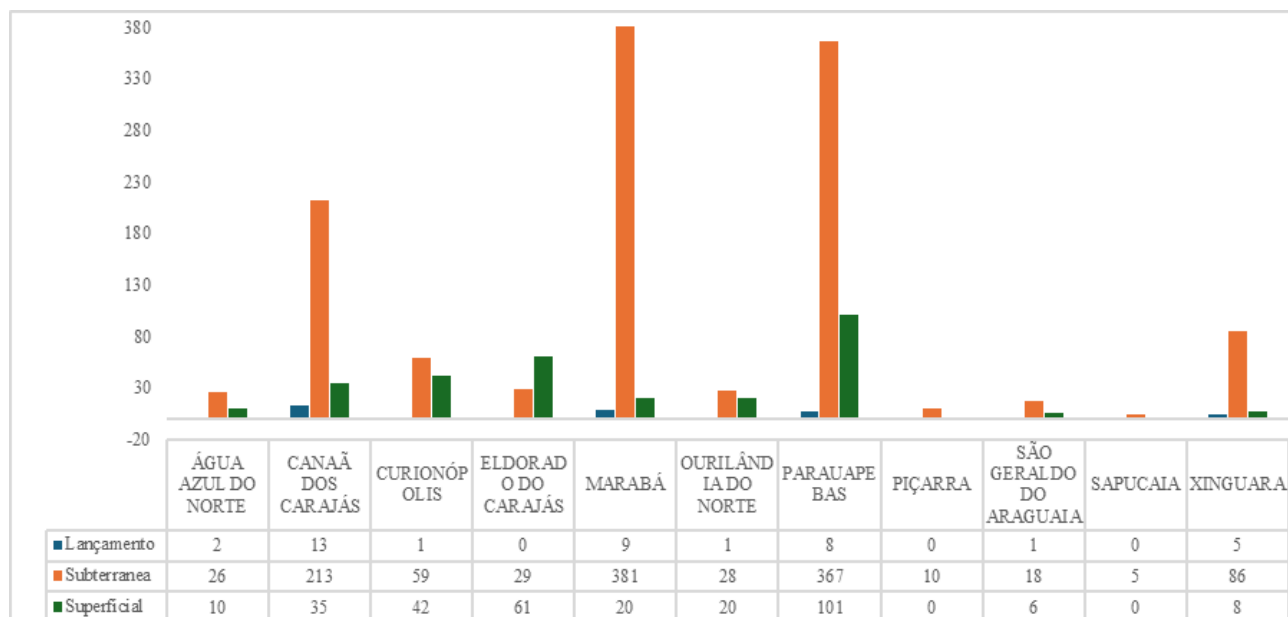


Figura 4. Total de outorgas vigente por município até abril de 2024.

A análise das outorgas de água na BHRI revela um fenômeno interessante e instigante quando se observa a discrepância entre a quantidade de títulos outorgados e a vazão total outorgada em alguns municípios, como é o caso de Canaã dos Carajás. Embora o município tenha apenas 16,85% do total de títulos, ele é responsável por uma parcela significativa da vazão outorgada, cerca de 51,58%. Essa diferença sugere uma série de fatores que merecem ser analisados de forma crítica, considerando tanto as características territoriais da região quanto os usos da água estabelecidos nos diferentes municípios.

Primeiramente, é importante compreender o que implica a quantidade de títulos outorgados e a vazão. A quantidade de títulos corresponde ao número de autorizações concedidas para o uso da água, enquanto a vazão se refere ao volume de água que pode ser utilizado por esses títulos. A relação entre esses dois fatores não é necessariamente linear, já que um município pode ter um número relativamente baixo de títulos, mas se esses títulos

forem concedidos para grandes volumes de água, a vazão total outorgada será elevada.

Em Canaã dos Carajás, um dos fatores que pode explicar essa disparidade é a presença de grandes empreendimentos que exigem grandes volumes de água para suas operações. O município, embora tenha uma menor quantidade de títulos, pode ser o local de atividades como mineração, agricultura de grande escala ou até mesmo projetos de irrigação, que demandam um consumo de água considerável. Tais atividades têm uma forte influência na outorga de vazão, o que explicaria a alta parcela da vazão relativa à pequena quantidade de títulos.

Outro ponto relevante é a concentração de grandes usos da água em regiões com menor densidade populacional ou com menor número de títulos, como em Canaã dos Carajás. Municípios com uma quantidade significativa de população e atividades produtivas diversificadas, como Parauapebas e Marabá, possuem mais títulos, mas o volume total de água outorgada é distribuído entre uma variedade de usos, o que resulta em uma vazão menor por

título, em comparação com os municípios com poucos títulos, mas de grande consumo por título.

Além disso, a distribuição de títulos e vazões pode refletir políticas públicas que buscam priorizar o uso de grandes volumes de água em áreas estratégicas para o desenvolvimento econômico da região. O fato de Canaã dos Carajás ter uma maior parte da vazão outorgada pode estar relacionado à tentativa de fomentar a atividade econômica por meio de recursos hídricos, com foco em setores econômicos que exigem grande quantidade de água.

A distribuição desigual dos recursos hídricos, com uma grande parte da vazão concentrada em poucos títulos, pode indicar uma necessidade de revisão nas políticas de gestão e distribuição de água, buscando maior equilíbrio entre o número de outorgas e a quantidade de água efetivamente consumida, para evitar a sobrecarga em determinadas áreas e garantir a sustentabilidade a longo prazo.

Portanto, essa diferença entre a quantidade de títulos e a vazão outorgada em Canaã dos Carajás é um reflexo das dinâmicas territoriais e econômicas da região, além de representar uma questão crucial para a gestão de recursos hídricos. Entender as razões por trás dessa discrepância é fundamental para o aprimoramento das políticas de outorga e para o planejamento de um uso sustentável e equilibrado dos recursos naturais.

Os resultados revelaram que os usos, como o consumo humano e a indústria, bem como os usos não-consuntivos, como o rebaixamento do nível de água e a lavagem de veículos, foram as atividades econômicas mais destacadas nas outorgas de uso na região da BHRI. É importante mencionar, dentro do contexto de uso das águas para atividades produtivas e recursos hídricos, que a quantidade de títulos e as vazões concedidas podem não refletir com fidelidade as principais atividades econômicas desenvolvidas.

Algumas atividades econômicas podem não demandar volumes elevados de água, mas, ainda assim, requerem a concessão de títulos. Por exemplo, atividades que não consomem a água diretamente, como o rebaixamento do nível de água para mineração ou para a extração de recursos subterrâneos, podem ter muitos títulos, mas não necessariamente uma grande vazão outorgada. Essas atividades podem ser muitas em número, mas com um impacto menor em termos de volume de água consumido. Em contrapartida, atividades que consomem grandes volumes de água, como a mineração ou a agricultura irrigada, podem ser concedidas em poucas outorgas, mas com uma grande vazão associada a cada título. Isso significa que, embora o número de títulos seja baixo, o volume total de água outorgado pode ser muito alto, refletindo atividades que exigem grandes quantidades de água, mas que podem ser localizadas em regiões menos densamente habitadas ou com menos títulos.

Alguns usos da água são não-consuntivos, ou seja, a água é utilizada, mas retorna ao ciclo hídrico em boas condições após o uso (como em processos industriais de resfriamento ou na lavagem de veículos). Nesses casos, o volume de água outorgado pode ser elevado, mas o impacto sobre os recursos hídricos de fato consumidos ou comprometidos pode ser menor, o que pode gerar uma distorção ao se tentar correlacionar o número de títulos com o impacto econômico real.

A forma como as políticas públicas de outorga é estruturadas também pode não refletir diretamente a atividade econômica predominante na região. Por exemplo, a concessão de outorgas pode ser priorizada para atividades consideradas estratégicas para o desenvolvimento econômico local, como mineração e grandes projetos agrícolas, mesmo que essas atividades sejam responsáveis por uma menor quantidade de títulos em comparação com outras atividades mais difusas ou com menor demanda de água, como o consumo humano ou a agricultura de pequeno porte.

A quantidade de títulos e a vazão outorgada podem ser influenciadas por variáveis externas, como mudanças nas regulamentações ambientais, pressão de grupos econômicos ou mudanças na demanda por recursos hídricos devido a fatores sazonais ou de mercado. Essas variáveis podem alterar a forma como os recursos hídricos são distribuídos, sem necessariamente refletir com precisão as necessidades de todas as atividades econômicas que ocorrem na região.

Portanto, a quantidade de títulos e a vazão outorgada representam uma fotografia da distribuição formal e regulada da água, mas podem não capturar de forma fiel a realidade das atividades econômicas predominantes, que podem variar de acordo com as necessidades e impactos específicos de cada setor.

Pesquisas [18] demonstraram que os impactos do uso e ocupação do solo na região da BHRI contribuíram para um aumento na média da temperatura do ar, chegando a representar um aumento de quase 1,7 °C, com uma redução na umidade relativa de 85,2% para 75,7%. De acordo com os mesmos pesquisadores, o desmatamento consolidado ao longo de quatro décadas no período de 1973 a 2013 afetou mais de 2 milhões de hectares de floresta. Essas variações resultaram em um aquecimento da atmosfera próxima à superfície de 9,5%.

É possível verificar que a pastagem, que historicamente tinha um percentual de 0,7% da área da BHRI com 32.756 ha, após quatro décadas, chegou a 50% da área da BHRI. Em consonância com esse aumento, a área urbana cresceu de 573 ha para 13.822 ha, sendo que a maior parte de ocupação se refere ao projeto Carajás, correspondendo a 11.719 ha, restando apenas as florestas protegidas por oito unidades de conservação e três terra indígenas.

Utilizando o modelo hidrológico para grandes bacias (MGB), diante do cenário analisado [9], se pode inferir que

o desmatamento impacta diretamente os processos águas subterrâneas o que compromete o aquífero a longo

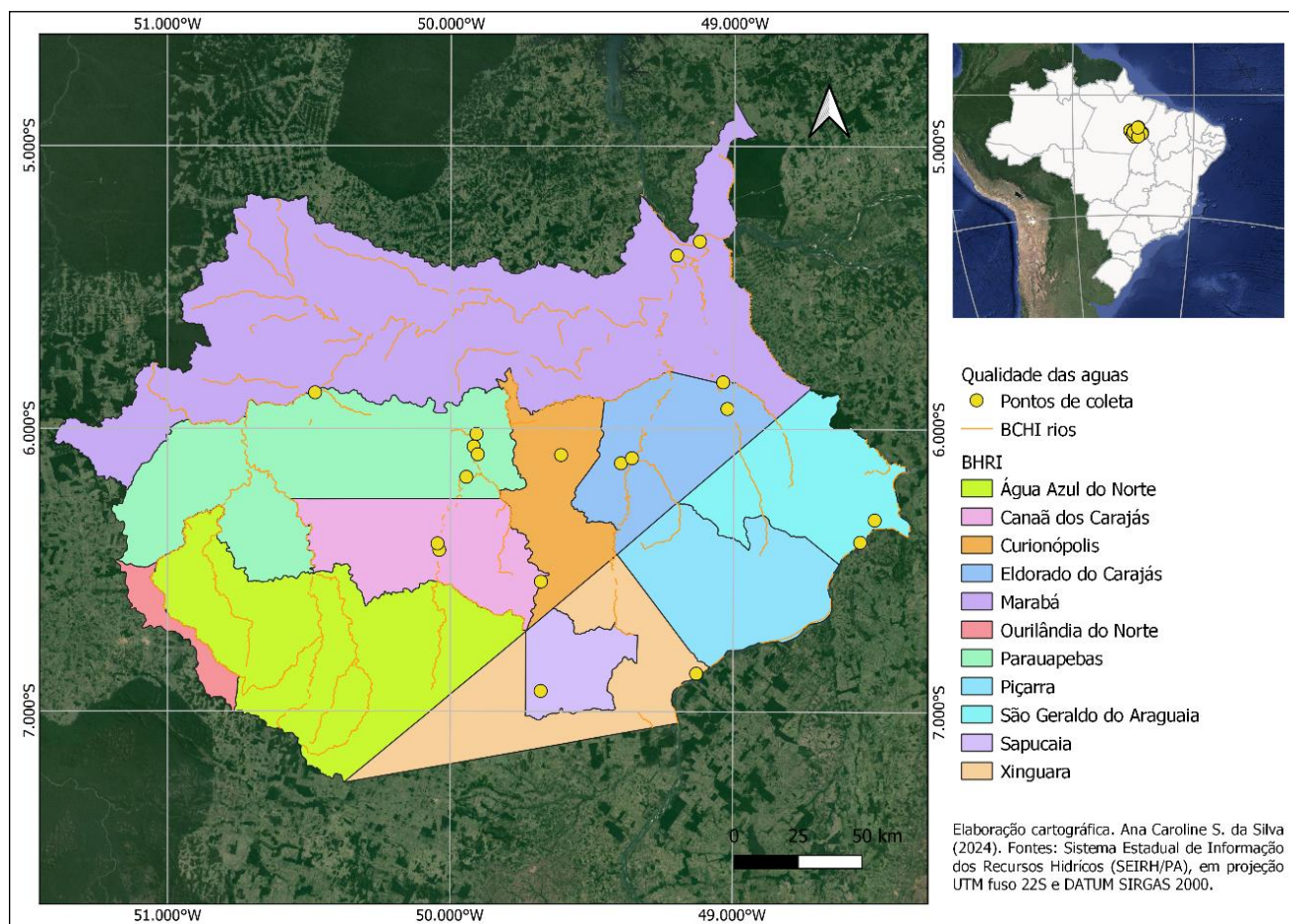


Figura 5. Mapa dos pontos de coleta para ensaio de qualidade das águas.

hidrológicos através da redução da recarga de água para atmosfera por evapotranspiração, diminuindo significativamente a precipitação.

A Lei das águas no Brasil preconiza que as decisões pertinentes a uma bacia hidrográfica devem ser tomadas no âmbito do Comitê de Bacia (CB), que necessita da participação do Poder público, dos usuários e das comunidades, todavia, o estado do Pará conta com apenas, um CB, o CB do Rio Marapanim que pertence à região hidrográfica Costa Atlântica Nordeste. No estado do Pará, a criação do primeiro comitê de bacia iniciou-se em 2003 através de movimentos sociais que visavam a limpeza e preservação de um trecho do rio Marapanim [19][20]. Em caso de inexistência do CB, os Planos de Recursos Hídricos podem ser elaborados por Bacia Hidrográfica, por Estado e para o País, isso se trata de planejamento compatível com o período de implementação de seus programas e projetos para longo prazo, mostrando assim o cenário dos recursos hídricos na bacia. Onde tem a maior demanda? Onde são as regiões mais críticas? De que forma as ações e os recursos devem ser priorizados nas bacias?

O Plano de Recursos Hídricos do Pará, elaborado em 2021, realizou um balanço hídrico quantitativo onde não foi feita a distinção de captação superficial e subterrânea das demandas outorgadas devido aos dados serem imprecisos. e cerca de 80% das outorgas emitidas são para

prazo [19]. A Sub-bacia do Rio Itacaiúnas foi considerada muito crítica, sendo a segunda mais crítica do estado devido a fator contributivo de alta demanda hídrica para o setor mineral com 80% de toda captação da área [21].

4.3. Mapeamento da qualidade das águas na Bacia do Rio de Itacaiúnas

A qualidade da água está diretamente ligada a diversos fatores e o seu monitoramento é extremamente importante servindo como instrumento de suporte para uma política de planejamento e gestão de recursos hídricos. Por meio de análises físicas, químicas e biológicas, é possível avaliar a longo prazo a evolução da qualidade das águas, justificando assim a grande importância do monitoramento.

Através dos dados coletados pela ANA/SEMAS e disponibilizados, foi possível diagnosticar a qualidade das águas da BHRI. Para isso, foram utilizados os dados com as coordenadas dos pontos coletados pela ANA/SEMAS em excel e transformados em base de dados shapefile com o QGIS, onde foi possível verificar os pontos coletados dentro da bacia em estudo, recortando os demais, como mostra o mapa a seguir na **FIGURA 5**.

A Resolução CONAMA 357 [22] estabelece critérios para a classificação das águas doces no Brasil, considerando a qualidade da água e os usos preponderantes para cada corpo hídrico. Essa classificação é dividida em **cinco classes** (classe 1 a classe 5), com base nos parâmetros de qualidade da água, como a concentração de oxigênio dissolvido, a turbidez e a concentração de substâncias como o fósforo. Cada classe tem limites específicos para a presença de poluentes e é destinada a diferentes tipos de uso.

- **Classe 1:** Águas destinadas ao abastecimento humano, para a preservação de ecossistemas aquáticos e para atividades de recreação em contato primário. As águas dessa classe devem ter a melhor qualidade, com limites rigorosos para a presença de poluentes.
- **Classe 2:** Águas que podem ser utilizadas para abastecimento humano após tratamento, para atividades recreativas e para a proteção da fauna e flora aquáticas, sendo mais tolerantes a poluentes em relação à classe 1.
- **Classe 3:** Águas destinadas à irrigação, à aquicultura, à navegação e a outros usos que não envolvam diretamente o consumo humano, mas que ainda requerem uma boa qualidade da água. Para a classe 3, os limites de poluentes são mais elevados que nas classes 1 e 2.
- **Classe 4:** Águas destinadas a usos como a navegação e outros fins que não exigem uma qualidade tão alta, como em atividades industriais ou para irrigação de plantas que não são sensíveis a concentrações mais altas de poluentes.
- **Classe 5:** Águas com alta carga de poluentes, adequadas apenas para usos que não exigem qualidade, como algumas atividades industriais ou descarte de efluentes.

As amostras mostram que há altas concentrações de fósforo total, chegando a valores de 0,16 mg/L. De acordo com a Resolução CONAMA 357, o valor máximo permitido para o fósforo total em ambientes de classe 3 é de 0,075 mg/L, o que indica que os trechos estudados, com valores superiores, se enquadram na classe 4. Os altos valores encontrados podem ser indicativos de despejos de efluentes domésticos nos cursos d'água ou do uso intensivo de fertilizantes agrícolas. Apesar disso, os trechos estudados ainda estão dentro dos limites estabelecidos pela legislação ambiental.

Os resultados de coliformes termotolerantes nas amostras indicam a presença de microrganismos patogênicos na água. Esses resultados podem estar relacionados ao lançamento de esgotos domésticos nos cursos d'água sem tratamento adequado. Estudos indicam que a *Escherichia coli*, um indicador de contaminação fecal, é comumente encontrada em grandes quantidades no trato intestinal de todos os mamíferos.

Na análise dos dados de turbidez dos pontos coletados, verificou-se que os valores não ultrapassaram os padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA 357 [22]. A turbidez variou entre 7 a 91,80 NTU, classificando-se como classe 3. Valores superiores a 100 NTU seriam classificados como classe 4, mas não foram encontrados tais níveis nas amostras coletadas.

Os resultados obtidos destacam a urgência de intervenções ambientais e sanitárias para mitigar a poluição nos corpos d'água. A implementação de práticas de manejo sustentável na agricultura e o investimento em infraestrutura de saneamento básico são essenciais para reduzir a carga de poluentes. Garantir o tratamento adequado dos efluentes domésticos antes de seu descarte contribui diretamente para a proteção da saúde pública e do meio ambiente. Além disso, a continuidade do monitoramento permite avaliar a eficácia dessas medidas, promovendo a melhoria contínua da qualidade da água.

Nesse contexto, os mapas elaborados no estudo desempenham um papel fundamental ao fornecer uma visão detalhada das áreas de impacto e vulnerabilidade. Sua flexibilidade permite que sejam alimentados e atualizados com novos dados sempre que necessário, servindo como ferramentas dinâmicas para o planejamento ambiental, a identificação de áreas críticas e a formulação de políticas públicas mais eficazes. Esses mapas também possibilitam a visualização das mudanças ao longo do tempo, facilitando a tomada de decisões para a conservação dos recursos hídricos e a sustentabilidade na região.

5. CONCLUSÃO

A BHRI enfrenta uma realidade complexa e desafiadora caracterizada pela coexistência de altos índices de desmatamento e atividades econômicas intensivas, como agropecuária, mineração e exploração madeireira, com áreas protegidas que abrangem aproximadamente 25% de seu território. Apesar da importância ecológica e socioeconômica da região, a gestão dos recursos hídricos revela fragilidades significativas, refletidas em discrepâncias entre os volumes de água captados e lançados e o número de outorgas emitidas. Esse cenário evidencia a subestimação do uso dos recursos hídricos e a ausência de uma correspondência adequada entre as demandas reais e o controle regulatório.

Os municípios que compõem a bacia possuem atividades produtivas de alta demanda hídrica, como a agroindústria, muitas vezes realizadas sem os títulos de outorga necessários ou em quantidade insuficiente para atender às práticas econômicas em curso. O número reduzido de outorgas para lançamento de efluentes em comparação às captações de águas superficiais e subterrâneas aponta para uma lacuna crítica na fiscalização. Esses desafios são ampliados pela vasta

extensão territorial da bacia, dificuldades de acesso, carência de infraestrutura adequada e integração limitada entre os órgãos gestores estaduais, limitando a eficácia das ações de monitoramento e regulação.

Nesse contexto, os mapas gerados ao longo deste estudo assumem um papel estratégico, fornecendo subsídios para identificar áreas impactadas, planejar ações de fiscalização e integrar dados sobre a relação entre atividades humanas e os ecossistemas locais. Além disso, esses mapas oferecem uma visão detalhada e sistêmica do uso e ocupação do solo, sendo ferramentas essenciais para o planejamento e a formulação de políticas públicas. Sua atualização contínua com a inclusão de novos dados, garantirá maior precisão nas análises e permitirá a identificação de áreas vulneráveis a crimes ambientais, contribuindo para mitigar ou até mesmo sanar os impactos identificados.

Portanto, a integração de dados técnicos e ferramentas de geoprocessamento com estratégias de gestão territorial e ambiental é indispensável para proteger os recursos hídricos da BHRI. Essa abordagem fortalece não apenas a preservação dos ecossistemas e a biodiversidade, mas também promove um equilíbrio sustentável entre as atividades econômicas e a conservação ambiental, beneficiando tanto as comunidades locais quanto o meio ambiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Rede Amazônia de Informação Socioambiental Georreferenciada (RAISG). *Amazônia 2019 - áreas protegidas e territórios indígenas*. Disponível em: www.amazoniasocioambiental.org. Acesso em: set. 2023
- [2] M.M. Amin. A Amazônia na geopolítica mundial dos recursos estratégicos do século XXI. *Rev. Cri. Ciên. Sociais*, **107**, 2015. Disponível: <http://journals.openedition.org/rccs/5993> DOI: 10.4000/rccs.5993. Acesso em: fev. 2023
- [3] M. Stavrou; J. J. M. Guilhoto; B. Becker. Increasing wildfires threaten progress on halting deforestation in Brazilian Amazonia. *Nat. Commun.*, **14**(1), 1985 (2023). Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41467-023-38864-1>. Acesso em: set. 2023
- [4] Secretaria estadual de meio ambiente e sustentabilidade (SEMÁS). *Sistema Estadual de Informações Sobre Recursos Hídricos do Pará*. Disponível em: <http://monitoramento.semas.pa.gov.br/seirh/#/SecaoTematica/1>. Acesso em: out. 2023
- [5] R. O. Silva-Júnior; J. C. B. Queiroz; D. B. S. Ferreira; A. L. Tavares; P. W. M. Souza-filho; J. T. F. Guimarães; E. J. P. Rocha. Estimativa de precipitação e vazões médias para a bacia hidrográfica do Rio Itacaiúnas (BHRI), Amazônia Oriental, Brasil. *Rev. Bras. Geogr. Fis.*, **10** (5), 1638-1654 (2017).
- [6] P. W. M. Souza-filho; E. B. Souza; J.N. Silva; W.R. Júnior; B.R.V. Mendonça; R. Dall'agnol. Four decades of land-cover, land-use and hydroclimatology changes in the Itacaiúnas River watershed, southeastern Amazon. *J. Environ. Manage.*, **167**, 175-184 (2016).
- [7] Agência nacional de águas (ANA). Outorga dos direitos de uso de recursos hídricos. *Brasília, DF: ANA*, 2019. 76 p. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/acesso-a-informacao/institucional/publicacoes>. Acesso em: set. 2023
- [8] Estado do Pará. Lei nº 6381, de 25 de julho de 2001 – *Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos*. Disponível em: <https://www.semas.pa.gov.br/2001/07/25/9760/>. Acesso em: nov. 2023.
- [9] Agência Nacional de Águas (ANA). *Política Nacional de Recursos Hídricos*. Brasília: ANA, 2015.
- [10] SEMAS - Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Sustentabilidade. *Gestão dos Recursos Hídricos no Pará*. Belém: SEMAS, 2015.
- [11] L. D. Santos; J. R. Pereira; M. G. Almeida. Impactos do uso consuntivo de águas no estado do Pará: uma análise de sustentabilidade. *Rev. de Estud. Ambientais*, **21**, 234-245 (2016).
- [12] A. B. Figueiredo; R. A. Costa; R. A. Lima. Gestão de águas no Pará: uso não-consuntivo e sua importância para o equilíbrio ecológico. *Rev. Bras. Rec. Hídricos*, **24**, p. 87-101 (2018).
- [13] D. S. Silva; M. F. Oliveira; V. A. Pimenta. Uso emergencial de recursos hídricos e a legislação no estado do Pará. *Rev. de Polít. Ambiental*, **19**, 112-123 (2017).
- [14] A. M. Carvalho; J. L. Souza; P. R. Fernandes. A gestão de recursos hídricos no estado do Pará: desafios e perspectivas. In: *Anais do 8º Encontro de Gestão de Recursos Naturais*. Belém: Anais... Belém: UFPA, 2019. p. 45-60.
- [15] G. T. Silva; M. R. Oliveira; E. F. Martins. Aplicação de técnicas de classificação de imagens para análise de uso e ocupação do solo. *Geoprocessamento & Meio Ambiente*, **19** (4), 223-240 (2023).
- [16] L. C. Mendes; R.A. Souza; T. B. Pereira. Padronização cartográfica e integração de dados espaciais para análise ambiental. *Bol. Geociências*, **38** (2), 89-105 (2021).
- [17] R. M. Costa ; L. P. Alves; T. C. Soares. Aplicações da ciência forense ambiental na identificação de impactos antrópicos. *Rev. Bras. de Criminalística Ambiental*, **10** (2), 45-63 (2020).
- [18] R. O. Silva Júnior; J. C. B. Queiroz; D. B. S. Ferreira; A. L. Tavares; P. W. M. Souza-Filho; J. T. F. Guimarães; E. J. P. Rocha. Estimativa de precipitação e vazões médias para a bacia hidrográfica do Rio Itacaiúnas (BHRI), Amazônia Oriental, Brasil. *Rev. Brasil. Geogr. Fis.*, **10** (5), 1638-1654 (2017).
- [19] P.R.M. Pontes; R.B.L. Cavalcante; P. K. Sahoo; R. O. Silva Júnior; M. S. Silva; R. Dall'Agnol; J. O. Siqueira. The role of protected and deforested areas in the hydrological processes of Itacaiúnas River Basin, eastern Amazonia. *J. Environ. Manage.*, **235**, 489-499 (2019).
- [20] SEMAS - Secretaria estadual de meio ambiente e sustentabilidade. *Produto Final: Sumário Executivo do PERH-PA*. Disponível em: https://www.semas.pa.gov.br/wp-content/uploads/2023/01/Produto_Final_Sumario_Executivo_do_PERH-PA.pdf. Acesso em: set. 2023

[21] I. C. Santos; s. Veloso; A. L. N. Comitê de bacia hidrográfica do rio marapanim (CBHRM), precursor no estado do pará: breve recorte histórico (2000-2015). *Nota científica*.

[22] BRASIL. Resolução CONAMA Nº 357, de 17 de Março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF.